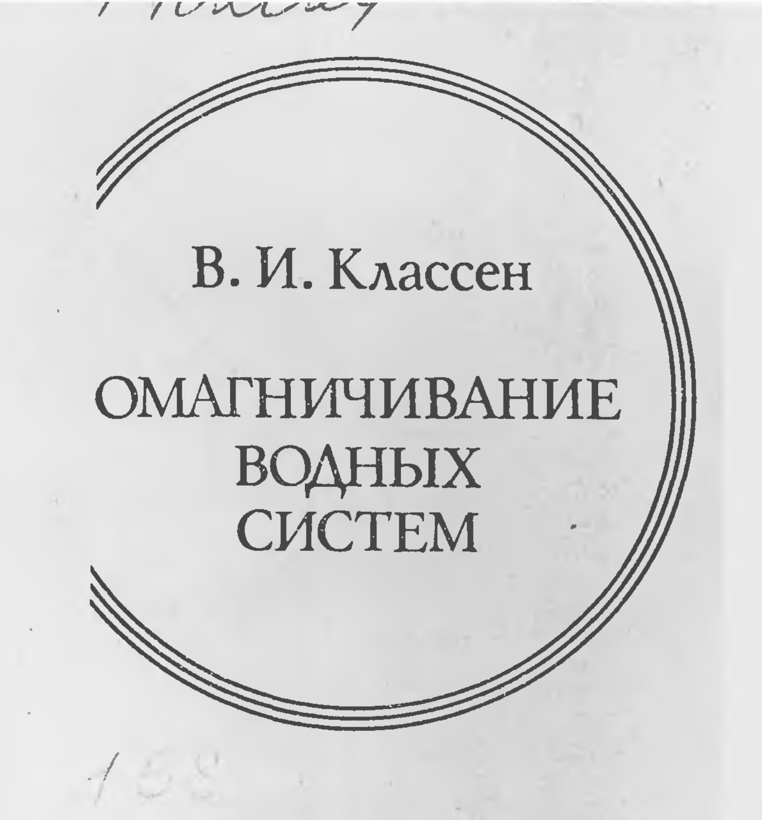


МОСКВА ИЗДАТЕЛЬСТВО «ХИМИЯ» 1978

6П7.1

К 47

УДК 66-911:546.212:538.6

Классен В. И.

Омагничивание водных систем. — М.: Химия, 1978. — 240 с., ил.

В книге освещен новый способ совершенствования многих технологических и биологических процессов, основанный на направленном изменении физико-химических свойств водных систем путем кратковременного воздействия на них магнитных полей. Рассмотрены результаты исследований и практического применения магнитной обработки водных систем во многих областях промышленности (производство бетона, керамики, обогащение полезных ископаемых, очистка воды и воздуха, и др.), в сельском хозяйстве (орошение посевов, рассоление земель) и в медицине. Описаны конструкции аппаратов, применяемых для магнитной обработки.

Книга рассчитана на широкий круг инженерно-технических и научных работников химической и других отраслей народного хозяйства.

240 с., 74 рис., 54 табл., 197 библиографических ссылок.

К $\frac{31402\text{-}105}{050(01)\text{-}78}$ 105-78

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ

В последнее десятилетие, в основном в Советском Союзе, установлена возможность направленного изменения многих свойств технической и природной воды кратковременным воздействием на нее относительно слабых электромагнитных полей. Это, по справедливости, должно оцениваться как открытие чрезвычайной важности. Совершенно необычное в научном плане, оно может привести к практическим последствиям, значение которых трудно переоценить. Дешевая и просто осуществимая магнитная обработка (или омагничивание) водных систем, как показано в предлагаемом вниманию читателя обобщении, может принести большую пользу народному хозяйству. Подвергая магнитной обработке водные системы, можно достигнуть значительного повышения эффективности различных производств, имеющих важное народнохозяйственное значение, улучшить качество выпускаемой продукции и уменьшить загрязнение окружающей среды.

Исследования в рассматриваемой области проводятся примерно в восьмидесяти институтах прикладного профиля, пока без необходимого участия институтов, разрабатывающих фундаментальные проблемы. Получено множество достоверных, весьма положительных практических результатов магнитной обработки. И хотя единое мнение по этому вопросу «в среднем по стране» отсутствует, памятуя мудрое высказывание Д. И. Мен-

делеева о недопустимости установления научных истин путем голосования, мы рискнули рассмотреть проблему разносторонне и объективно.

Рассматриваемая в книге проблема тесно переплетается с новой важной проблемой влияния магнитных полей (искусственных и естественных) на биологические системы. Общим для них является то, что действию слабых электромагнитных полей подвергаются системы, содержащие в разных формах воду, и что после этого с водными системами происходят сходные изменения.

Работа в совершенно новой области сопряжена с очень большими трудностями, прежде всего психологического плана, и нуждается во внимании специалистов и их поддержке. Поэтому я считаю необходимым отметить огромную помощь и содействие в развитии работ в области омагничивания водных систем, которую оказали мне П. А. Ребиндер и А. Н. Фрумкин. Я рад также выразить большую благодарность за неоценимые советы и моральную поддержку Б. В. Дерягину, В. Н. Костину, И. В. Петрянову-Соколову, И. П. Алимарину, Б. Н. Ласкорину, А. М. Кутепову, В. Е. Ковалю, А. П. Островскому, В. Ф. Ростунову, Ю. Д. Полякову и всей теперь уже огромной армии единомышленников — «магнитчиков». Без этой помощи книга едва ли могла быть написана.

ВВЕДЕНИЕ

Водные системы (природная вода, растворы) играют уникальную роль в жизни человечества и формировании нашей планеты. В. И. Вернадский подчеркивал, что нет такого компонента, который мог бы сравниться с водой по влиянию на ход основных, самых грандиозных геологических процессов [1, с. 16]. Несмотря на это, вода еще не стала одним из главных объектов исследования физиков. И вообще физика жидкостей, особенно ассоциированных, по общему признанию, представляет собой слабо разработанный раздел теоретической физики. И вода «мстит» за это невнимание, преподнося различные сюрпризы. Все чаще отмечаются необычные изменения свойств воды после различных внешних воздействий. Подтвердим это лишь двумя примерами.

1. Исследованиями, проведенными в области радиохимии И. А. Гровтером (I. A. Growther), найдено, что электрический заряд различных тонкодисперсных твердых частиц, взвешенных в воде, значимо (на 5—15%) изменяется после действия на эту систему радиоактивного излучения. Самое странное то, что изменение, в зависимости от дозы радиации (с шести и до нескольких тысяч рентгенов), носит периодический характер: множество раз заряд становится то больше, то меньше исходного. Это наблюдается для частиц самой различной природы; следовательно, за указанную периодичность ответственна дисперсионная среда — вода. Однако, как справедливо отметил 20 лет назад А. О. Аллен, этот «. . . . . неожиданно открытый эффект до настоящего времени остается необъясненным» [2, с. 215]. Не объяснен он и до сих пор.

2. Более десяти лет Ф. А. Летниковым с сотрудниками исследуется изменение физико-химических свойств дистиллированной и природной воды, нагретой в автоклаве из золота, платины и титанового сплава до 300—400 °С и подвергнутой при этом высокому давлению. После медленного охлаждения автоклавы вскрывались, и

вода подвергалась разностороннему изучению. Оказалось, что «активированная» таким способом вода обладает резко аномальными свойствами, медленно и самопроизвольно исчезающими. В воде значительно увеличивается концентрация водородных ионов (pH достигает 5,2), на два порядка возрастает электропроводность, увеличивается растворяющая способность воды (не соответствующая изменению pH). Совсем уже необычно, что добавление к «активированной» воде разбавленной соляной кислоты приводит вначале к повышению щелочности среды и лишь затем к естественному ее подкислению. Конечно, при попытках объяснения всех перечисленных аномальностей нельзя не учитывать возможность загрязнения воды компонентами материала стенок автоклава (хотя механизм действия примесей остается совершенно неясным).

Несмотря на хорошую воспроизводимость опытов и большое возможное практическое значение, найденный эффект до сих пор не имеет объяснения [3].

Следует заметить, что вода и водные системы являются труднейшим объектом исследования. Относясь к так называемым открытым системам, они обмениваются с внешней средой не только энергией, но и веществом. Одновременно—это плохо организованные системы, свойства которых не однозначно и не аддитивно зависят от многих еще не полностью вскрытых факторов.

В наши дни уже оформилась как особая дисциплина магнетохимия, возникшая после того, как М. Фарадей заметил, что магнитные свойства присущи всем веществам и тесно связаны с их химическим составом и строением. Магнетохимия развивается в двух направлениях— «магнетостатическом» и «магнеторезонансном», поэтому она находит применение как для изучения веществ, так и для ускорения различных химических реакций.

Интенсификация технологических процессов в соответствии с классическими магнетохимическими представлениями достигается воздействием относительно сильных (многие тысячи эрстед) магнитных полей на системы, обладающие достаточно высокой магнитной восприимчивостью, причем реакции протекают в магнитном поле. При магнитной обработке водных систем эти условия не соблюдаются. Магнитными полями невысокой напряженности действуют в течение долей секунды на водные системы, часто обладающие ничтожно малой магнитной восприимчивостью. Физико-химические реакции и процессы *протекают после* магнитной обработки.

Указанные особенности магнитной обработки водных систем резко расширяют практические возможности. Как показано ниже, магнитная обработка водных систем при достаточном развитии может играть важную роль в промышленности, медицине, сельском хозяйстве. Однако отход от классической магнетохимии вызывает необходимость разработки новых теоретических представлений, что в нашем случае связано с очень большими трудностями.

Обработка водных систем именно магнитными полями является наиболее развитым, но частным случаем. Не меньший интерес представляет воздействие на них всех видов излучений, имеющих электромагнитную природу. Спектр электромагнитных волн имеет широчайший частотный диапазон: от $3 \cdot 10^{24}$ до $3 \cdot 10^{-2}$ Гц. Магнитные поля с частотой меньше $3 \cdot 10^{2}$ Гц условно относят к электромагнитным. Пока при магнитной обработке водных систем применяли низкочастотные магнитные поля.

История магнитной обработки водных систем вкратце такова. Первые сведения о влиянии магнитных полей на свойства воды были получены в медицине. В XIII веке физик де Гересо отметил лечебные свойства «омагниченной» воды; в начале XX века вышла в свет и в 1913 г. была переведена на русский язык книга Г. Дюрвилля (G. Durville) с примерами успешного лечения этой водой ран и язв. В 30 годах нашего столетия Дж. Пиккарди (G. Piccardi) отметил влияние солнечной активности на коагуляцию взвешенных в воде частиц оксихлорида висмута, связав это влияние с изменениями геомагнитного поля. И, наконец, в 1945 г. бельгиец Т. Вермайрен (T. Vermeiren) запатентовал применение магнитной обработки воды для уменьшения образования накипи. Хотя это открытие быстро нашло практическое применение, оно не привлекло должного внимания ученых. И лишь после того, как в Советском Союзе было высказано предположение о том, что влияние магнитной обработки на отложения накипи связано с изменением физико-химических свойств водных систем и следовательно может проявляться во многих других случаях, рассматриваемая проблема была поставлена во всей ее широте.

ГЛАВА I

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ВОДЫ И РАСТВОРОВ

1. СТРУКТУРА ЧИСТОЙ ВОДЫ

Структура молекулы воды установлена весьма точно (рис. 1). Из имеющихся в молекуле 10 электронов (5 пар) одна пара электронов (внутренних) расположена вблизи ядра кислорода, а из остальных 4 пар электронов (внешних) по одной паре обобществлено между каждым из протонов и ядром кислорода, тогда как 2 пары остаются неподеленными и направлены к противоположным от протонов вершинам тетраэдра. Именно эти неподеленные пары играют большую роль в возникновении межмолекулярных водородных связей (рис. 2).

Наличие водородных связей придает воде специфическую, лабильную структуру. Основополагающие работы в этой области Бернала и Фаулера [4] получили в дальнейшем широкое развитие. Подробная систематизация и анализ этих исследований содержатся во многих монографиях (например, [5—8]) и здесь не рассматриваются. Важные модели структуры воды, объясняющие ее аномальные свойства, разработаны О. Я. Самойловым, Полингом, Франком-Немети, Шарага, Поплом и др. Ажено, исходя из общих квантово-механических положений, обосновал возможность существования лишь двух связей в молекуле воды и образования структуры, состоящей из колец или линейных цепочек.

Оценивая множество гипотез о структуре воды, нельзя не согласиться с Р. Хорном, считающим, что ни одна из теорий не является вполне удовлетворительной и ни одна из них не лишена истины [8, с. 33].

При объяснении многих экспериментальных данных чаще всего пользуются так называемыми двухструктурными моделями, предполагающими одновременное присутствие в воде льдоподобной и плотноупакованной

структур. Следует заметить, что различными моделями можно одинаково удовлетворительно описывать основные термодинамические свойства воды. Принципиальным

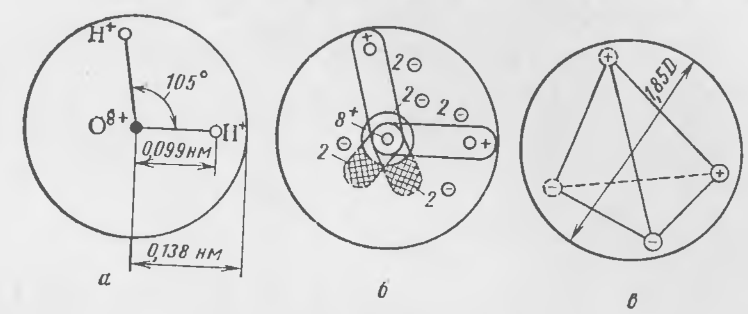


Рис. 1. Модель молекулы воды:
а — плоскостная модель; б — пространственная модель (распределение масс и положительных зарядов и электронная конфигурация); в — пространственная модель; тетраэдрическое расположение двух положительных и двух отрицательных зарядов и результирующий дипольный момент.

недостатком большинства моделей является их чрезмерная и необоснованная геометризация с использованием жестких неизменяющихся конфигураций молекул воды. При этом недооценивается возможность их искажения в процессе межмолекулярного взаимодействия. В последних работах отмечается, что амплитуды колебаний отдельных атомов в молекулах воды достигают очень больших величин [7].

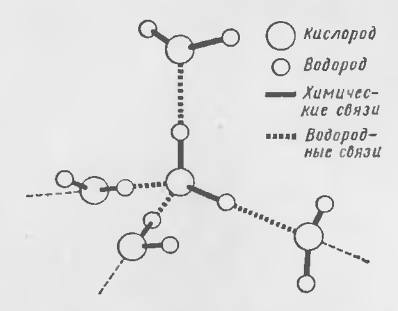


Рис. 2. Схема водородных связей между молекулами воды.

Для практических целей можно оперировать общими представлениями о структуре воды, характеризуемой статистической закономерностью межмолекулярных расстояний и ориентаций, с ближним порядком в расположении частиц и отсутствием дальнего порядка (когда порядок в одном месте никак не действует на порядок в другом). Особенности водородной связи в воде обусловливают возмож-

ность возникновения и исчезновения долгоживущих микрообластей со льдоподобной структурой, так называемых «мерцающих групп». Их плавление и распад не связаны со сколь-либо значительными энергетическими изменениями.

Следует оценить, хотя бы приблизительно, энергию, необходимую для изменения структуры воды. Трудно найти первопричину, но часто указывается, что разрыв водородных связей является обязательной предпосылкой изменения структуры воды. Следовательно, для такого изменения необходимо затратить энергию порядка 16,7—25,1 кДж/моль (4—6 ккал/моль). Однако имеется ряд веских соображений, прежде всего в работах И. Попла [9], свидетельствующих о необязательности разрыва водородных связей. Структурные изменения под влиянием различных внешних воздействий — температуры, давления или магнитных полей — определяются также большим или меньшим изгибом связей (изменением угла между линией, соединяющей центры ближайших молекул воды, и направлением связи О—Н одной из этих молекул). Энергия, необходимая для изгиба водородных связей, неизмеримо меньше энергии их разрыва. К тому же одновременная деформация угла и длины связи молекул энергетически более выгодна, чем деформация только угла или только длины связи [7].

Таким образом, изменение структуры воды возможно при затрате энергии намного меньше энергии водородных связей.

2. ВЛИЯНИЕ РАСТВОРЕННЫХ ПРИМЕСЕЙ

Вода всегда содержит примеси. Даже предельно чистая вода, тщательно сохраняемая, быстро их приобретает, растворяя, казалось бы, нерастворимые стенки сосудов. Загрязнена и дистиллированная вода, не говоря уже о природной или технической.

Примеси, находящиеся в воде, сильно и разнообразно влияют на ее структуру и следовательно физико-химические свойства. Примеси в воде делятся на две большие группы: электролиты, присутствующие в воде в виде ионов, и неэлектролиты, находящиеся в ней в молекулярной форме.

Влияние ионов на структуру воды связано с их гидратацией. Различают ближнюю гидратацию (взаимодействие иона с одинаковыми к нему молекулами воды) и дальнюю гидратацию — поляризацию более отдаленных молекул воды. Основной вклад в теорию гидратации ионов сделан О. Я. Самойловым, развившим молекулярно-кинетическое представление о гидратации ионов [6]. Характеристикой ближней гидратации является отношение времени пребывания молекулы воды в ближайшем окружении иона ко времени нахождения ее в положении равновесия с другими молекулами в невозмущенной структуре воды. На основании данных о растворимости солей и теплотах гидратации ионов установлено, что на связь одной молекулы с катионом в зависимости от его заряда (+1, +2 или +3) приходится соответственно 42, 126 или 420 кДж/моль (10, 30 или 100 ккал/моль). В последнем случае гидратированный катион похож на химическое соединение. Вблизи одновалентных ионов время оседлого пребывания молекул воды имеет порядок 10^{-8} с.

По изменениям энтропии гидратации установлено, что при появлении иона в воде энтропия системы не уменьшается, а наоборот увеличивается вследствие искажения структуры воды (поскольку гидратированный ион не вписывается в структуру воды — сетку водородных связей).

О. Я. Самойловым введены также понятия положительной и отрицательной гидратации [6]. В первом случае ослабляется трансляционное движение молекул воды вблизи иона, они становятся менее подвижными, чем в чистой воде. При отрицательной гидратации, наоборот, возрастает подвижность молекул воды вблизи иона. Это происходит в присутствии ионов большого размера с малыми зарядами (K^+, Cs^+, Br^-, S^{2-} и др.). Различный характер гидратации ионов четко отмечается методами ядерного магнитного резонанса, инфракрасной спектроскопии и др.

По характеру гидратации можно разделить ионы на две группы:

1) упорядочивающие вокруг себя структуру воды:

$$Al^{3+} > Cr^{3+}; \quad Be^{2+} > Cd^{2+} > Zn^{2+} > Mg^{2+}; \quad Li^{+} > Na^{+};$$

$$CO_3^{2-} > SO_4^{2-}; \quad OH^{-} > F^{-}$$

2) «разрыхляющие» вокруг себя структуру воды:

$Cs^+ > K^+$; $ReO_4^- > ClO_4^- > I^- > NO_3^- > SCN^- > Cl^-$

Характер гидратации ионов влияет на основные свойства водных растворов — их сжимаемость и плотность, коэффициент диффузии растворенных веществ, давление пара, электропроводность, температуры кипения и замерзания, растворяющую способность, ИК-спектры и химические сдвиги. В исследованиях процессов, связанных с магнитной обработкой, рассматривают ее влияние на скорость ультразвука и ширину линий протонномагнитного резонанса.

Степень гидратации ионов является одним из основных факторов, определяющих их подвижность и химическую активность. Поэтому важно установить, влияет ли магнитная обработка водных растворов на гидратацию ионов, поскольку с этим может быть связан механизм ее действия.

Молекулы инертных газов, по-видимому, растворяются в воде так, что вокруг них, в зависимости от их размеров, могут образовываться различные структуры — типа льда, искажение которых обусловлено изгибами водородных связей, присутствием кристаллогидратов и др. Это приводит к образованию новых водородных связей, т. е. стабилизации структуры воды.

Измерением диэлектрической проницаемости водных растворов инертных газов при различном давлении И. В. Матяш подтвердил, что только атомы гелия и молекулы водорода могут помещаться в полости структуры воды без разрушения водородных связей. Молекулы же кислорода, аргона и азота вызывают деформацию каркаса структуры воды [10]. Согласно представлениям Л. Полинга, развитым Г. Г. Маленковым, Х. Франком и А. С. Квистом, в воде возможно образование гидратов газов додекаэдрического строения (12-гранников из 20 молекул воды) с полостью диаметром около 0,52 нм. Попадание в эту полость молекул газов близких размеров вызывает стабилизацию структуры. Сильное влияние инертных газов на реакции, идущие в воде под действием ультразвука, связывается с попаданием в клатратные полости комплексов H_2O_4 и HO_2O_2, имеющих наибольший размер около 0,48 нм [11]. Возможна стабилизация клатратных структур и другими «заполнителями», имеющими соответствующие размеры. Л. Д. Кисловский отводит особую роль ионам кальция, обосновав возможность образования так называемых гексааквакомплексов $[Ca(H_2O)_6]^{2+}$, в центре которых находится ион кальция. Диаметр этого комплекса равен 0,516 нм и хорошо соответствует полости клатратной структуры. Это приводит к образованию больших метастабильных ионов, значительно влияющих на структуру и свойства воды. Такие ионы могут играть определенную роль в процессах магнитной обработки воды [12, с. 25].

В случае хорошо растворимых веществ, содержащих полярные группы и гидрофобные радикалы (например, спиртов), полярная часть может замещать молекулу воды каркаса, а гидрофобная может заполнять пустоты («гидрофильное» внедрение). При слабом взаимодействии молекул неэлектролита с молекулами воды заполнение пустот гидрофобной частью может быть значительным. Таким образом, дифильные молекулы могут по-разному влиять на структуру и свойства воды. Максимальная стабилизация структуры происходит при заполнении всех полостей молекулами неэлектролита. Все эти сложные вопросы подробно рассмотрены в специальной литературе [5—8].

3. СТРУКТУРНАЯ РЕЛАКСАЦИЯ

До последнего времени воду рассматривали как равновесную систему. При снятии внешних воздействий все вызванные ими изменения структуры и свойств воды должны немедленно исчезнуть (за 10^{-9} с), и система должна самопроизвольно вернуться в исходное состояние. Однако многочисленные экспериментальные данные последнего десятилетия свидетельствуют о неправомочности такого мнения. Для осмысливания магнитной обработки водных систем этот вопрос является принципиальным. От его решения зависит возможность применения законов термодинамики равновесных систем для анализа процесса магнитной обработки (иногда эти законы произвольно применяют), а также теоретическое обоснование последействий магнитной обработки воды.

Приведем факты, свидетельствующие о структурной

релаксации дистиллированной воды, содержащей некоторое количество примесей. *

В. И. Данилов обнаружил, что вода, нагретая после замораживания до температуры несколько выше 0 °С, затем замерзает при температуре немного ниже 0 °С, а нагретая до 40—50 °С замерзает при температуре —11,6 °С [13, с. 73] (правда, это может быть связано и с переохлаждением воды, обусловленным дезактивацией центров кристаллизации на границах жидкой фазы). Кураши и Асанулла (M. Qurashi, A. Ahsanullah) отметили, что с повышением температуры вязкость и электропроводность воды изменяются не плавно, а ступенчато. Л. Е. Ефанов отметил, что таким свойством обладает только свеженерегнанная вода [14] (следует заметить, что имеются и опыты, не подтвердившие эту зависимость).

Отмечено также, что спектр ЯМР воды продолжает медленно изменяться уже после того, как температура воды достигнет нового значения [15].

Ю. А. Сикорский с соавторами измеряли методом биений в поле высокой частоты диэлектрическую проницаемость талой воды при температуре таяния (при строгом термостатировании). Оказалось, что эта величина постепенно и самопроизвольно изменяется во времени. Диэлектрическая проницаемость через 264 с после момента полного исчезновения льда равнялась 74, через 330 с она составила 79,0 и через 750 с была равна 81 Ф.

Такое изменение диэлектрической постоянной является следствием постепенного разупорядочения льдоподобных структур [16].

С этими данными полностью совпадают данные Грея и Крюкснанка о запаздывании стабилизации магнитной восприимчивости талой воды, достигающей табличного значения только через 20 мин после расплавления льда [17]. Работа [16] была подвергнута критике, что обусловлено необычностью полученных в ней результатов. В частности говорилось, что лед просто не успел полностью растаять и в воде сохранились его «микроайсберги» (хотя именно они должны были быстро раствориться).

Нами была предпринята попытка оценить скорость структурных превращений в воде, полученной не при плавлении льда, а при конденсации водяного пара. Полученные результаты свидетельствуют о несколько повышенной плотности свежего конденсата (через 7—10 мин после его образования) [18].

А. Б. Киселев методом рентгеноструктурного анализа, выполненного с использованием дифрактометра УРС-50ИМ и регистрацией рассеянных лучей сцинтилляционным счетчиком, установил, что вода, активированная по методу Ф. А. Летникова, обладает структурной релаксацией. Дифракционные картины активированной и обычной воды снимались через каждые 20 мин. Как показал анализ, измененная структура активированной воды постепенно в течение 3—5 ч приближается к структуре исходной воды [3]. Кроме того, «... зафиксирована ускоренная релаксация активированной воды под действием пяти последовательных «ударов» рентгеновского излучения, когда после каждой экспозиции фиксировался переход к структуре обычной воды» [3].

То, что вода, содержащая примеси, обладает структурной релаксацией, подтверждено методами ядерно-магнитного резонанса (ЯМР), определением спин-эха.

Болгарские физики А. Державский, В. Константинов и Г. Клисуранов пропускали непрерывный поток дистиллированной воды через аппарат с электромагнитами. После этого аппарат периодически включали и выключали. Из аппарата вода непрерывно поступала в установку ЯМР, частоту магнитного поля которой меняли. Это приводило к изменению прецессии протонов воды, сопровождаемой поглощением определенной, точно измеряемой энергии. Величина такого сигнала релаксирует — медленно затухает. Релаксация зависит от взаимодействия протона со структурированной средой, т. е. водой. Опыты показали, что после предварительной магнитной обработки время протонной релаксации возросло на 0,1 % (что считается существенным).

О. П. Мчедлов-Петросян, А. Н. Плугин и А. В. Ушеров-Маршак для определения структурной релаксации воды воспользовались импульсной методикой спин-эха ЯМР [19, с. 185—189]. Измерялась спин-решеточная релаксация T_1. Дистиллят обрабатывали на униполярном магните, без оптимизации режима, возможно поэтому его изменения не были отмечены.

* Сведения, связанные с магнитной обработкой воды, приведены в других разделах книги.

Природную воду обрабатывали на многополюсном аппарате при разных напряженностях поля (от 23,8 до 200 кА/м или от 300 до 2500 Э). Установлено значительное (до 25%) изменение величины T_1 при определенной напряженности магнитного поля (разброс данных не превышал 5—7%). Отношение амплитуды сигнала спин-эхо, измеренной при различных напряженностях магнитного поля, к амплитуде сигнала при нулевом поле имеет минимум при определенных значениях напряженности поля. Величина и положение этого минимума зависят от того, в какую сторону изменяется напряженность — в сторону увеличения или уменьшения. По мнению авторов этого исследования, «гистерезисный ход можно объяснить наличием так называемого структурного времени релаксации водного раствора».

Следует заметить, что в литературе приводятся сведения о некотором временном изменении свойств воды и после слабых механических воздействий и перемещений в магнитном поле Земли. С. Борди и Дж. Папеши отметили периодическое изменение удельной электропроводности и поверхностного натяжения тридистиллята при его механическом перемешивании [20].

В нашей лаборатории методами быстрой регистрации малых величин поверхностного натяжения и электропроводности со статистической достоверностью установлено временное изменение этих показателей при перемещении бидистиллята в пространстве. Если вода находилась под защитой стального экрана, то этот эффект не обнаруживался. Также отмечено аномальное изменение электропроводности в покоящейся и движущейся воде.

Таким образом, можно считать, что *вода, содержащая растворенные примеси (в том числе примеси газа), обладает структурной релаксацией.* Механизм возможного влияния при этом различных примесей пока не выяснен. Б. В. Дерягин и Н. В. Чураев обоснованно отмечают, что «пока неизвестно, связано ли это с диффузионной кинетикой — скоростью рекомбинации ионов (собственных или примесных) или же с процессами перестройки сложных надмолекулярных структур» [21]. Но процессы, связанные с изменением структурных характеристик воды, не могут рассматриваться на основе термодинамики равновесных систем. И нет ничего невероятного в замедленном восстановлении ряда структурочувствительных

характеристик воды указанной степени чистоты, отмечаемом после ее магнитной обработки.

4. МАГНИТНАЯ ВОСПРИИМЧИВОСТЬ

Эта характеристика воды и водных растворов имеет принципиальное значение для их магнитной обработки.

Известно, что чистая вода диамагнитна. Ее диамагнитная восприимчивость при 20 °C равна $-0{,}7212\cdot10^{-6}$ ($\pm0{,}0007\cdot10^{-6}$). При малейших структурных изменениях эта величина должна изменяться. Ослабление межмолекулярных связей должно приводить к увеличению диамагнетизма. Это отчетливо подтверждается наличием так называемого температурного коэффициента диамагнитной восприимчивости воды. С повышением температуры диамагнитная восприимчивость воды изменяется от $-2{,}9\cdot10^{-6}$ при 5 °C до $-0{,}62\cdot10^{-6}$ при 70 °C [22]. Это изменение сравнимо с наблюдаемым при переходе льда в воду при 0 °C [17]. Считается, что температурный коэффициент исследован хорошо, однако данные различных авторов значительно различаются [17], что может быть следствием влияния неучитываемых факторов на структуру воды.

Отмечается монотонность изменения температурного коэффициента [22]. Но многими замечено нарушение этой монотонности в области температур 30—45 °C [17, 23]. Это соответствует так называемой точке Кюри при 35 °C, обусловленной скачкообразным изменением структуры воды [24]. В работе [25] указывается, что аномальность свойств воды в пределах 30—50 °C связана с поляризационным магнетизмом, зависящим от характера распределения электронной плотности и очень чувствительным к изменению взаимодействия частиц в системе. Результаты опытов Р. Чини показывают, что присутствующие в воде растворенные газы влияют на точку Кюри, тем самым подтверждается влияние этих газов на структуру воды [17]. Особенно заметно влияние других примесей на структуру воды и ее магнитную восприимчивость. Магнитная восприимчивость воды очень сильно зависит от вида и концентрации примесей. Многие из них обладают парамагнетизмом, который накладывается на диамагнетизм воды и иногда перекрывает его. Поэтому величина и характер магнитной восприимчивости раство-

ров (объекта магнитной обработки) зависят как от природы ионов и молекул примесей, так и от характера их связи с водой и друг с другом. Парамагнетизм соединения обычно слабее парамагнетизма исходных веществ. Чем прочнее соединение, тем оно более диамагнитно [26]. Ниже показано, что магнитная обработка оказывает влияние на протекание различных химических реакций. Это может быть одним из механизмов изменения магнитной восприимчивости водной системы после магнитной обработки.

5. СТРУКТУРА ВОДЫ И ЕЕ СВОЙСТВА

Вода обладает многими ярко выраженными аномальными свойствами. Все они являются следствием особенностей структуры воды и развитости в ней водородных связей. Плавление твердой воды (льда) сопровождается не расширением, как для подавляющего большинства веществ, а сжатием. Аномально изменение плотности воды с повышением температуры: при ее возрастании от 0 до 4 °С плотность увеличивается, при 4 °С она достигает максимальной величины и только при дальнейшем повышении температуры плотность воды начинает уменьшаться. Зависимость теплоемкости воды от температуры также имеет экстремальный характер. Минимальная теплоемкость достигается при 34,5 °С, что вдвое превышает теплоемкость льда (при плавлении других твердых тел теплоемкость изменяется незначительно). И вообще, удельная теплоемкость воды аномально велика. Она равна 4,2 Дж/(г·К), в то время как, например, теплоемкость спирта равна 0,14 Дж/(г·К). Вязкость воды в отличие от вязкости других веществ возрастает с повышением давления в интервале температур от 0 до 30 °С. Вода имеет температуры плавления и кипения, значительно отличающиеся от этих температур других гидратных соединений, соразмерных с водой. Воде свойственна также исключительно высокая диэлектрическая проницаемость, обусловливающая большую ее растворяющую способность.

Таким образом, изменяя структуру воды и формы нахождения в ней примесей, можно регулировать физико-химические свойства воды.

От структурированности воды зависят и многие другие ее свойства, например, изменение диамагнитной восприимчивости воды при повышении температуры. Причиной этого явления считается разупорядочение структуры воды [27]. Для рассматриваемых ниже вопросов важно экспериментальное подтверждение связи между смачиваемостью водой минералов и степенью ее структурированности. Это показано недавно В. А. Глембоцким и Ю. И. Ереминым на примере смачивания обычной и свежеталой дистиллированной водой поверхности кварца. Оказалось, что свежеталая (более структурированная) вода гораздо хуже смачивает кварц, чем обычная (менее структурированная). Нарушение связей между молекулами воды ультразвуком приводит к улучшению смачивания кварца. Эти данные, полученные измерением краевых углов смачивания, согласуются с данными протонно-магнитного резонанса [28]. Можно предполагать, что структурированная вода как бы сама себя оттягивает от твердой поверхности.

ГЛАВА II

ИЗМЕНЕНИЕ ВОДНЫХ СИСТЕМ ПОСЛЕ МАГНИТНОЙ ОБРАБОТКИ

В основе многочисленных приемов практического использования магнитной обработки водных систем лежат, естественно, определенные изменения их физических и физико-химических свойств. Выявлению таких изменений посвящено большое число исследований как в нашей стране, так и за рубежом. Следует отметить, что идеально чистую воду, как правило, не изучали. Опыты проводили с бидистиллятом, дистиллятом, технической водой, искусственными растворами, суспензиями и биологическими системами. Эти исследования были сопряжены с большими трудностями. Прежде всего, изменения свойств гомогенной жидкой фазы водных систем часто весьма невелики. Это, конечно, не предопределяет невозможность достижения существенных конечных эффектов. Усиление и стабилизация малых начальных изменений свойств могут происходить с помощью промежуточных механизмов, во много раз увеличивающих эти изменения. В подавляющем большинстве случаев *такое усиление свойственно гетерогенным системам и фазовым переходам.* Например, малейшее стимулирование образования кристаллов может вызвать лавинную и необратимую кристаллизацию в объеме, со всеми вытекающими из этого технологическими последствиями. Небольшое уменьшение степени гидратации поверхности твердых частиц в определенных условиях может привести к их массовой коагуляции, существенному улучшению фильтрования и др.

Незначительное изменение отдельных свойств жидкой фазы обусловливает необходимость высокой точности их измерений и устранения возможного влияния побочных факторов (некоторые из них, по-видимому, еще не выявлены). Это далеко не всегда удается сделать. Обычно приходится проводить большое число опытов и получать статистически достоверные данные.

Следующим затруднением является сложность строгой идентификации условий магнитной обработки в отдельных опытах, тем более проводимых в разных лабораториях. Например, общепринятая единственная характеристика магнитного поля по средней напряженности однородного поля оказывается далеко недостаточной. Значительная разность скоростей потока по его сечению, особенно в трубках малого диаметра, не позволяет использовать среднюю скорость течения как исчерпывающую его характеристику. Трудно учитываемые малые изменения концентрации и характера примесей к воде, значительное влияние внешних наводок — все это в совокупности обусловливает вариабельность получаемых результатов *.

Наконец, отдельные свойства воды находятся в тесной взаимосвязи. Поэтому окончательно надежным можно считать согласованное изменение всей гаммы характеристик. Однако именно в этом случае особенно велика отрицательная роль отдельных неточных экспериментов и различных условий их проведения.

Учитывая все сказанное, при обобщении огромного, часто противоречивого материала, мы оценивали его критически и акцентировали внимание на результатах, заслуживающих доверия.

1. ГОМОГЕННЫЕ СИСТЕМЫ

Оптические свойства

Изучение влияния электромагнитных полей на оптические свойства водных систем представляет большой интерес не только потому, что они являются одной из физических характеристик системы, но и потому что оптические свойства воды можно измерять при минимальных на нее воздействиях и с минимальным риском изменения этой лабильной системы в процессе измерения.

В свое время Г. З. Хайдаров и И. В. Горбенко отмечали изменение показателя преломления воды после

* Этот вопрос подробней рассмотрен в п. 3 гл. III.

магнитной обработки [29], но измерения других исследователей не подтвердили это [30]. Иные результаты получены при исследовании изменения экстинкции (поглощения) света водой. Известно, что в ультрафиолетовой области спектры экстинкции обусловлены процессами, происходящими во внешних электронных оболочках атома, и зависят от структуры связи, температуры и агрегатного состояния вещества. При наличии в воде примесей существенное значение имеет их состав и дисперсность.

Первые наши работы в этой области дали положительные результаты [31]. Экстинкцию в зависимости от длины волны определяли на монохроматоре УМ-2 с использованием фотоумножителя ФЭУ-29 и чувствительного гальванометра фирмы Цейсс. Обработке подвергали дистиллированную воду (электропроводность 2 мСм·м$^{-1}$*, пропускаемую со скоростью 0,6 м/с через девять магнитных полей при разной их напряженности — от 0 до 120 кА/м (от 0 до 1500 Э). Через 10 мин после начала опыта снимали спектры поглощения. Опыты воспроизводили многократно. Отмечено значительное (до 30%) изменение экстинкции света водой с четкой периодической зависимостью от напряженности поля. Максимум абсорбции света зафиксирован при одной и той же длине волны. Поскольку порог чувствительности данного метода к примесям определяется их концентрацией выше 10^{-6} %, а в испытуемой воде их было меньше, можно предполагать, что объемноструктурные свойства этого сильно разбавленного водного раствора претерпевают изменение.

Эти результаты были проверены М. Л. Михельсоном с сотрудниками [32, с. 78—83]. Измеряя спектрофотометром СФ-4а экстинкцию в интервале волн 220—1100 нм, они установили, что магнитная обработка различно влияет на свойства дистиллированной и технической воды, причем в первом случае свойства изменяются в большей степени. Для дистиллята экстинкция в ультрафиолетовой части спектра убывает, а для технической воды — возрастает.

Влияние магнитной обработки воды, содержащей примеси, на экстинкцию света было впоследствии подтверждено также и Г. М. Ивановой и Ю. М. Махневым [12, с. 45—51]. В опытах с бидистиллятом применяли различные варианты замораживания и кипячения воды, а также добавляли в нее этиловый спирт (стабилизатор структуры). Результаты опытов приведены в табл. 1.

Таблица 1. **Влияние предварительного кипячения, замораживания и магнитной обработки бидистиллята на экстинкцию света при длине волны 220 нм**

Образец воды	Величина экстинкции		
	абсолютная	% к контрольному образцу	% к аналогу без магнитной обработки
Без магнитной обработки:			
контрольная	0,840	100,0	—
кипяченая	0,562	67,0	—
талая	0,877	104,4	—
После магнитной обработки:			
контрольная	1,060	126,2	126,2
кипяченая	1,020	121,4	181,7
талая	1,200	142,8	137,0

Как видно из данных табл. 1, экстинкция света сильно зависит от степени чистоты бидистиллята, содержащего воздух. Кипячение приводит к уменьшению экстинкции, замораживание—к некоторому ее увеличению. После магнитной обработки экстинкция света водой во всех случаях увеличивается. В абсолютных единицах наибольшая экстинкция свойственна омагниченной воде после замораживания — оттаивания. Но прирост экстинкции больше всего заметен после обработки кипяченой воды. Возможно, это связано с влиянием процесса растворения газов, делающего систему менее устойчивой.

Причины описанного изменения экстинкции света водой после магнитной обработки требуют дальнейшего изучения.

А. Н. Потапин измерил изменение дисимметрии рассеянного света водными растворами сульфата кальция концентрацией 2 г/л, вызванное их магнитной обработкой. Измерения интенсивности I рассеянного света проводились под углом 45 и 135°. Монохроматический пучок света от гелий-неонового лазера с длиной волны 632,8 нм пропускали через нейтральный светофильтр и конден-

* 1 см·м$^{-1}$ = 1 Ом$^{-1}$·м$^{-1}$ = 10^{-2} Ом$^{-1}$·см$^{-1}$.

сорную линзу; непараллельность светового потока уменьшалась точечной диафрагмой и колиматорной линзой. Светоприемником служил фотоэлектронный умножитель ФЭУ-51. Точность измерений была не ниже 1%. Магнитную обработку проводили двенадцатиполюсным аппаратом. Измерения выполняли через 20 мин после обработки. Результаты приведены ниже:

Напряженность поля, кА/м (Э)	$I_{45°}/I_{135°}$
Бидистиллят	
167,2 (2100)	1,00
Раствор сульфата кальция	
167,2 (2100)	1,07
79,6 (1000)	1,05
39,7 (500)	1,02

Эти данные позволяют полагать, что магнитная обработка стимулирует образование ассоциатов ионов (что может приводить к уменьшению количества воды, связанной ионами и находящейся в их гидратных оболочках).

Магнитооптический эффект Фарадея

Поворот плоскости поляризации монохроматического светового излучения при прохождении через прозрачное вещество (в нашем случае — воду), помещенное в магнитное поле, зависит от напряженности поля, температуры и объемноструктурных свойств вещества. Впервые влияние магнитной обработки на магнитооптический эффект Фарадея было установлено А. В. Смирновым. Эффект заметнее с возрастанием парамагнетизма ионов, добавляемых к воде. В дальнейшем В. Е. Зеленко, А. А. Упорова и Ю. К. Чернов дифференциальными измерениями интенсивности проходящего света установили, что изменение магнитооптического эффекта для омагниченной воды составляет 8—20% [33]. По-видимому, это связано также с изменением экстинкции света. Зависимость эффекта от напряженности магнитного поля имеет полиэкстремальный характер. Проанализировав возможные причины данного изменения, авторы предположительно объясняют его изменением структуры раствора, связанного с изменением гидратации ионов, уменьшением диссоциации растворенных веществ и дополнительным растворением атмосферных газов.

Гидратация ионов

Уже в первых работах высказывались предположения о том, что магнитная обработка может оказывать влияние на гидратацию ионов водных систем (Дж. Пиккарди, И. К. Лопырев, В. И. Миненко и др.). Но эти высказывания носили предположительный характер [34] и нуждались в экспериментальном подтверждении.

Гидратация ионов оказывает очень сильное влияние на свойства растворов и кинетику многих физико-химических (и, следовательно, технологических и биологических) процессов. Поэтому установление влияния магнитной обработки растворов на гидратацию ионов имеет принципиальное значение. Количественно оценить степень гидратации ионов можно по теплоте гидратации (изменению энтальпии), изобарно-изотермическому потенциалу, энтропии, энергии активации самодиффузии молекул воды, ванфлековскому парамагнетизму и др. Пока имеются результаты только двух довольно надежных экспериментальных исследований, свидетельствующих о том, что магнитная обработка заметно влияет на гидратацию ионов.

1. В. С. Духанин и Н. Г. Ключников для установления влияния магнитной обработки на степень гидратации ионов использовали ультразвуковой метод определения гидратных чисел ионов (вероятности нахождения среднего числа постоянно присутствующих в данных условиях молекул воды вблизи иона). Хотя такое определение и является некоторым упрощением, но в первом приближении по гидратным числам можно судить о степени гидратации ионов. Этот метод основан на определении степени адиабатической сжимаемости растворов по скорости ультразвука [19, с. 70—73] (метод А. М. Пасынского). Степень адиабатической сжимаемости в значительной мере зависит от изменения (даже незначительного) интенсивности ионных, молекулярных и ионно-молекулярных взаимодействий. Принимается, что вода в гидратных оболочках сжимается меньше, чем в объеме. Используя ультразвуковой анализатор скорости типа

УЗАС-7, определяли скорость распространения ультра-звуковых волн в термостатированном растворе. Одновре-менно определяли плотность раствора, необходимую дл расчета. Опыты проводили с хлоридами лития, калия магния, кальция, железа и др.

Экспериментально установлено, что электромагнит ная обработка заметно влияет на гидратацию ионов При этом гидратация диамагнитных ионов уменьшается что же касается парамагнитных ионов, то для них на блюдается тенденция к увеличению гидратации. Значи тельные изменения гидратации ионов наблюдаются разбавленных растворах, в которых присутствуют ио ны — стабилизаторы структуры: наиболее гидрофильнь ионы (Li^{+}, Mg^{2+}, Ca^{2+}) и ионы, способные к образовани комплексов с водой (Fe^{3+}, Ni^{2+}, Cu^{2+}) *. В. С. Духани и Н. Г. Ключников пришли к выводу, что омагничивані приводит к некоторому «разрыхлению» структуры вод сопровождаемому ее упорядочением и увеличением чи ла долгоживущих «мерцающих» групп.

Различное изменение гидратации диа- и парамагни ных ионов можно попытаться связать с изменение структуры чистой воды. Если ионы обладают диамагни ными свойствами (как и растворитель—вода), то степе гидратации ионов по мере упрочнения структуры вод будет уменьшаться. Ионы с бо́льшей диамагнитной во приимчивостью (K^{+}, Cs^{+}) разрушают структуру воды почти не влияют на изменение ее свойств после магни ной обработки. Таким образом, в этом процессе больш роль принадлежит не только отдельным видам ионов, и их сочетаниям.

Изменение скорости ультразвука в воде после омагничивания подтверждено И. Я. Подчерняевь И. В. Кисленко и П. М. Сидорченко [19, с. 102—103].

2. В. Е. Зеленков, В. И. Классен, В. К. Кульсар и А. А. Мусина исследовали изменение протонно-магн ного резонанса растворов бикарбоната кальция. Изве но, что ширина линий ЯМР зависит от времени релак ции и определяется взаимодействием молекул. Чем си нее гидратация ионов, тем шире линия ЯМР. Опы проводили с природной водой (преобладающие компо-ненты: Ca^{2+} — 50 мг/л и HCO_3^- — 200 мг/л), растворами бикарбоната кальция близких концентраций и раствором коллоидного железа [19, с. 62—67].

Для приготовления раствора бикарбоната кальция CaO хч растворяли в дистилляте (тройная перегонка в режиме парения, удельная электропроводность 0,15 мСм·м$^{-1}$ при 18 °С), через который пропускали дву-окись углерода. Необходимая концентрация $Ca(HCO_3)_2$ достигалась последующим разбавлением. Коллоидный раствор железа получали фильтрацией суспензии из-мельченного магнетита, приготовленной на том же дис-тилляте. Содержание железа контролировали по диа-магнитной восприимчивости, которая для приготовлен-ного раствора была на 15% меньше восприимчивости дистиллята.

Электромагнитную активацию воды и растворов осу-ществляли в устройстве трансформаторного типа при скорости течения жидкости 0,6 м/с и напряженности поля 135 кА/м (1700 Э). При выборе оптимального режима активации руководствовались изменением магнитной восприимчивости водных систем.

Ширину линий резонансного поглощения ПМР иссле-дуемых водных систем измеряли спектрометром широ-ких линий типа РЯ-2301 (разрешающая способность $2 \cdot 10^{-6}$, чувствительность $4 \cdot 10^{20}$ ядер дейтерия при отно-шении сигнал—шум 50 : 1) при рабочей частоте 40 МГц. Результаты измерений спектров исходных и активиро-ванных водных систем, записанные через 5 и 30 мин пос-ле активации, приведены в табл. 2. Каждое приведен-ное значение ширины линии и стандартной ошибки явля-ется средним, вычисленным по семи спектрам.

Из табл. 2 видно, что дистиллят по сравнению с истинными растворами дает более широкую линию. Ка-кого-либо влияния электромагнитной активации на ха-рактер ПМР дистиллята на данном спектрометре обна-ружить не удалось. Сужение линий ПМР природной во-ды (общее солесодержание до 300 мг/л) и раствора бикарбоната кальция говорит о том, что вводимые ионы действуют разрушающим образом на квазикристалличе-скую структуру воды. Молекулы растворителя становят-ся более подвижными, более свободными. Электромаг-нитная активация вызывает еще большее сужение линии

* Это позволяет предполагать, что именно такие ионы при м нитной обработке оказывают влияние на различные технологичес процессы.

Таблица 2. **Влияние магнитной обработки воды на характер протонно-магнитного резонанса**

(1 А/м 0,0126 Э)

Водная система	Ширина линии ПМР, А/м		
	исходная	после 5 мин активации	после 30 мин активации
Дистиллят	320±0,24	320±0,24	320±0,24
Природная вода	229±0,22	204±0,64	204±0,48
Раствор $Ca(HCO_3)_2$	189±0,72	170±1,36	166±0,96
Коллоидный раствор железа	302±0,80	378±2,09	298±0,72

поглощения, т. е. происходит дальнейшее разрушение структуры воды, что приводит к увеличению числа свободных мономерных молекул.

Уширение линии резонансного поглощения в коллоидном растворе ферромагнитных окислов железа объясняется появлением неоднородностей в магнитном поле спектрометра. Электромагнитная активация, вызывающая намагничение и коагуляцию частиц, приводит к резкому уширению сигнала ПМР, а укрупнение ферромагнитных частиц обусловливает более заметную локальную неоднородность поля. Однако коагуляция приводит к тому, что такой коллоидный раствор становится неустойчивым; укрупненные частицы, по-видимому, выпадают из раствора, так как через 30 мин ширина резонансной линии становится близкой к ширине линии дистиллята.

Несмотря на то, что электромагнитная активация в обоих случаях приводит к сужению линии ПМР, сужение резонансной линии природной воды сразу после активации (аналогично сужению линии для раствора бикарбоната кальция) говорит о том, что основную роль в механизме активации играет дегидратация ионов.

Для количественной оценки изменения гидратации ионов при электромагнитной активации ПМР-спектры исходного и активированного внешним полем растворов бикарбоната кальция были записаны на спектрометре высокого разрешения ZKR-60 (разрешающая способность $5 \cdot 10^{-9}$, отношение сигнал—шум линий 1%-ного раствора этилбензола 20 : 1, точность градуировки 1,2 Гц, рабочая частота 60 МГц) относительно гексаметилдисилоксана. Основные результаты измерений приведены в табл. 3. (каждое значение является средним из трех измерений спектров).

Из табл. 3 видно, что химический сдвиг в спектре раствора бикарбоната кальция довольно заметно отличается от химического сдвига в спектре дистиллята. По сравнению со спектром дистиллята резонансная линия в

Таблица 3. **Влияние магнитной обработки водных систем на химический сдвиг**

Водная система	Химический сдвиг		
	Гц	млн$^{-1}$	скорректированный с учетом магнитной восприимчивости, млн$^{-1}$
Дистиллят	310	—5,166	— 5,249
Исходный раствор $Ca(HCO_3)_2$, 183 мг/л	300	—5,000	— 4,851
Активированный раствор $Ca(HCO_3)_2$, 183 мг/г	297	—4,950	— 4,706

спектре раствора сдвинулась в сторону более сильного поля. Известно, что сильная поляризация, вызываемая малыми ионами, приводит к сдвигу сигнала ПМР в сторону слабого поля, а вызываемая крупными ионами, обладающими большей способностью разрушать квазикристаллическую структуру воды, приводит к сдвигу резонансного сигнала ПМР воды в сторону сильного поля. Следовательно, в нашем случае вводимые ионы действуют разрушающим образом на структуру воды (при выводе ионов результаты аналогичны результатам ЯМР спектроскопии широких линий).

Искажение квазикристаллической решетки приводит к появлению большего числа мономерных подвижных молекул растворителя. Это соответствует представлениям О. Я. Самойлова об отрицательной ближней гидратации некоторых ионов. К таким ионам относится, очевидно, ион HCO_3^-, так как гидратация иона Ca^{2+} происходит так же, как обычно, т. е. подвижность молекул воды вблизи иона Ca^{2+} уменьшается.

Электромагнитная активация раствора приводит к дополнительному сдвигу сигнала ЯМР в сторону сильного поля, что эквивалентно появлению дополнительного значительного количества мономерных молекул. Изменение химического сдвига после электромагнитной активации раствора $Ca(HCO_3)_2$ может быть вызвано рядом причин. Изменение диамагнитной восприимчивости раствора в этом случае не является такой причиной. В табл. 3 приведен также химический сдвиг, скорректированный с учетом магнитной восприимчивости раствора, измерения которой проводили одновременно.

Таким образом, изменение химического сдвига не может быть следствием изменения концентрации ионов HCO_3^- и Ca^{2+} в растворе, так как результаты определения содержания бикарбоната кальция в растворе показали, что концентрация ионов HCO_3^- и Ca^{2+} при данном режиме активации оставалась неизменной.

Дополнительный химический сдвиг возможен также вследствие еще большего разрушения структуры воды, т. е. при нарушении связей между молекулами воды. Однако данные табл. 3 показывают, что электромагнитная активация не влияет на дистиллят, т. е. вряд ли этот фактор вносит существенный вклад в отмеченный химический сдвиг.

Наиболее вероятно, что изменение химического сдвига обусловлено уменьшением количества воды, связанной в гидратные оболочки.

По изменению химического сдвига можно оценить, насколько изменилась степень гидратации ионов в результате активации. Ориентировочные расчеты, приведенные в работе [19, с. 62—67], показывают, что степень гидратации ионов кальция изменяется на 30—36%.

Таким образом, из анализа ЯМР спектров следует, что нарушение квазикристаллической структуры воды, вызванное присутствием ионов, после магнитной обработки еще более усугубляется. Происходит увеличение отрицательной и уменьшение положительной гидратации соответствующих ионов, увеличивается число свободных мономерных, более подвижных молекул воды, и, как следствие, возрастает активность такой водной системы, что неизбежно отражается на ее физико-химических свойствах.

Инфракрасные спектры поглощения

Применение инфракрасной спектроскопии для оценки изменения свойств воды после магнитной обработки очень перспективно. Этот метод, основанный на квантовом эффекте резонансного поглощения света веществом, находит широкое применение в исследованиях молекулярной структуры жидкой воды. Однако при использовании этого метода возникают принципиальные трудности. Не зная детально структуру воды, затруднительно использовать метод теоретического моделирования. Размытость колебательных полос жидкой воды мешает получению большинства спектральных характеристик. Сильное поглощение во всей области основных колебаний заставляет работать со слоями жидкости микронной толщины, что неизбежно снижает точность измерений. Все это обусловливает необходимость проведения исследований на высоком профессиональном уровне. Сделанное до сих пор отвечает лишь начальной стадии исследований. Тем не менее первые полученные результаты заслуживают внимания, поскольку они характеризуют изменения собственно воды в присутствии примесей.

Уже первые опыты, проведенные с тонкими слоями воды, позволили отметить некоторые необычные изменения ИК-спектров водных систем, подвергнутых магнитной обработке [35]. Однако возможность точного поддержания толщины столь тонкого слоя воды (3 мкм) казалась нам сомнительной. Поэтому были проведены еще две группы опытов с ослаблением поглощения воды в области валентных колебаний, что достигалось применением раствора воды в подходящих растворителях. В качестве растворителя применяли тяжелую воду [35] и ацетонитрил [36]. Большое число измерений, выполненных в течение нескольких лет, позволило установить определенное увеличение поглощения в области валентных колебаний воды. Статистически достоверные результаты получены и при проведении экспериментов в среде различных газов. Однако следует отметить, что во всех случаях наблюдались кратковременные 5—10-дневные периоды, в которые магнитная обработка не отражалась на ИК-спектрах. Подобные результаты были отмечены и в работе [37]. Правда, в последнем случае режим обработки не был оптимизирован.

Несмотря на все методические недочеты, можно выделить две группы фактов, позволяющих считать, что магнитная обработка воды, содержащей примеси, влияет на ее ИК-спектр. Результаты опытов [35], проводимых последовательно в течение 2 суток, один за другим с магнитной обработкой и без нее, показали, что во всех случаях поглощение воды после обработки было выше, чем без обработки (рис. 3). Другая закономер-

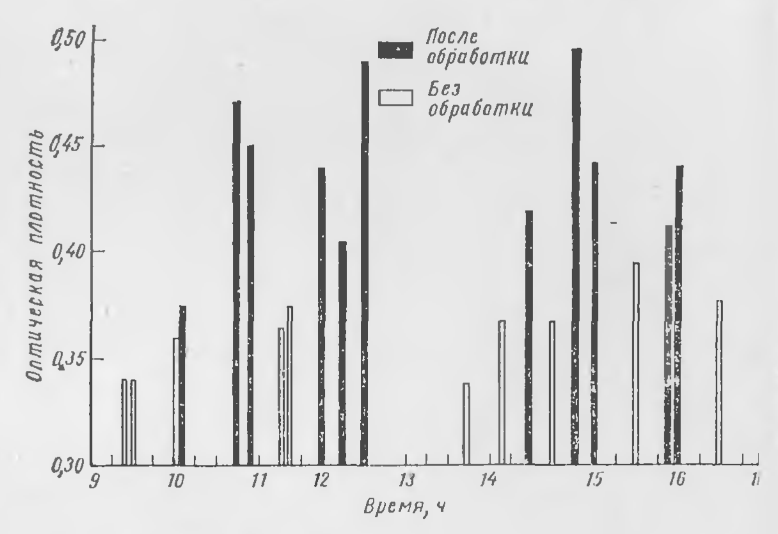


Рис. 3. Влияние магнитной обработки раствора воды в тяжелой воде на оптическую плотность (ν=3450 см$^{-1}$).

ность заключалась в том, что статистически достоверное увеличение поглощения с течением времени самопроизвольно снижалось (рис. 4).

Следует отметить, что при всех возможных инструментальных и методических погрешностях отмеченные закономерности не могут быть случайными.

Впоследствии это принципиально было подтверждено высококвалифицированными исследованиями А. В. Карякина с сотрудниками по сложной дифференциальной методике. В каналы применяемого спектрометра СФ-8 помещали кюветы с водой, имеющей разную температуру. В отличие от наших прежних опытов, в этих опытах снимались дифференциальные спектры поглощения воды в обертонной области. Магнитная обработка тоже была своеобразной и, по-видимому, не лучшей: бидистиллят помещали на 2 ч в постоянное магнитное поле. Дифференциальный спектр поглощения омагниченного бидистиллята по отношению к обычному приведен на рис. 5.

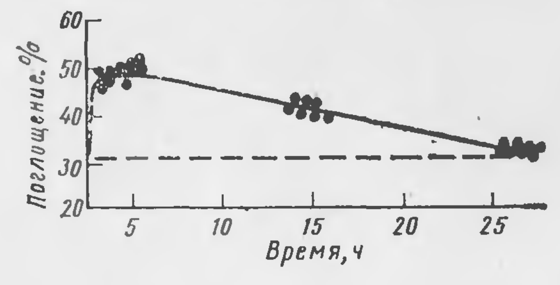


Рис. 4. Изменение поглощения в области ν=3450 см$^{-1}$ в зависимости от времени, прошедшего после магнитной обработки.

Эти опыты показали, что «...омагниченная вода по структуре близка к талой. Данный вывод находит подтверждение в работе [35], в которой установлено усиле-

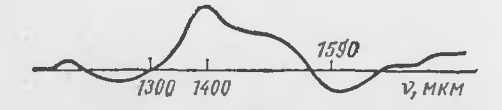


Рис. 5. Дифференциальный спектр поглощения омагниченного бидистиллята по отношению к обычному (ν — частота).

ние интенсивности поглощения воды при 3450 см после магнитной обработки» [38]. В этой же работе [38] отмечено, что эффект наблюдается только в том случае, если в воде растворен кислород. Такой вывод является весьма важным.

Г. Д. Урываева и М. И. Татаринцева установили, что магнитная обработка воды оказывает влияние на интенсивность поглощения в области деформационных колебаний, что приводит к некоторому увеличению интенсивности поглощения в области либрационных колебаний

(межмолекулярных колебаний каркасных молекул воды) и появлению полосы поглощения с максимумом в области 1250 см⁻¹ [19, с. 178].

Были проведены опыты по изучению влияния магнитной обработки воды, содержащей добавку — стабилизатор структуры, на ИК-спектр. В качестве такой добавки был выбран этиловый спирт. Смесь его с водой

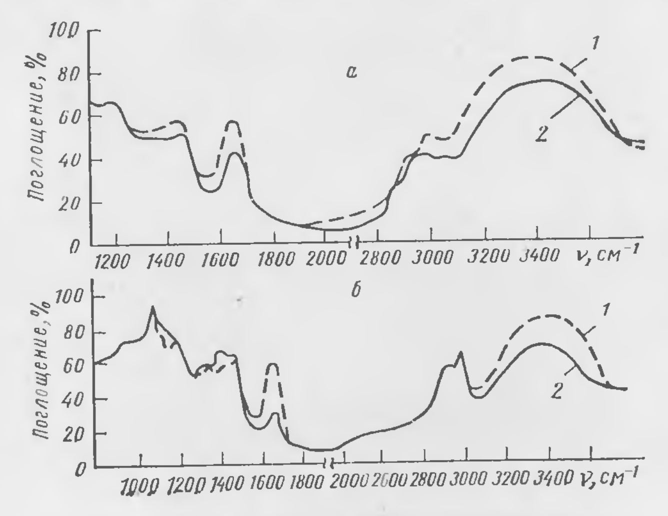


Рис. 6. Спектры водного раствора этилового спирта:
а — 48% спирта, 52% воды; *б* — 96% спирта, 4% воды; *1* — омагниченный раствор; *2* — неомагниченный раствор.

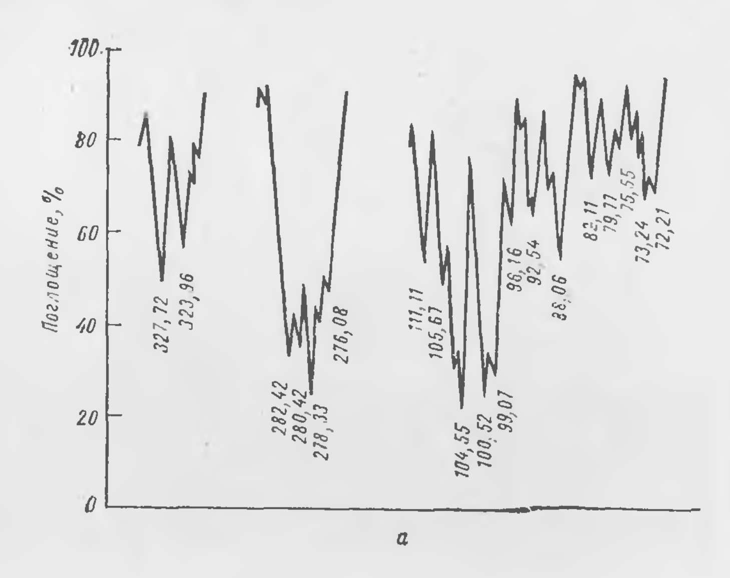
обладает особенно сильно развитыми водородными связями. Опыты проводили методом многократного нарушенного полного внутреннего отражения, не требующим ни тонких слоев воды, ни растворения ее в растворителях. Правда, этим методом фиксируется не само поглощение света, а более сложная характеристика — функция действительной и мнимой части комплексного показателя преломления. Результаты опытов приведены на рис. 6 [39], из которого видно изменение спектра в областях валентных и деформационных колебаний.

Во всех рассмотренных опытах применяли жидкую воду, в которой трудно наблюдать вращательную структуру молекулярных спектров, так как вращение молекул или заторможено их взаимной связью, или уровни сильно смещены, и получение четкого спектра становится невозможным. Вместе с тем, выявление изменения вращательных колебаний представляется весьма важным. Для наблюдения изменений чисто вращательных спектров необходимо экспериментировать с газообразными веществами в далекой области инфракрасного диапазона. В этой области пары воды имеют очень сложный и многообразный спектр поглощения, который несет в себе разнообразную информацию. Известно, что вращательные спектры определяются ориентацией ядерных спинов, структурой молекул и характером их взаимосвязи.

С. Т. Усатенко, В. И. Морозов и В. И. Классен исследовали пары бидистиллята на спектрометре Fis-3 «Hitachy» в интервале 400—60 см⁻¹ (разрешающая способность 0,5 см⁻¹, воспроизводимость по волновому числу ±0,3 см⁻¹). Кювета для газов имела окна из фторопласта. Предварительными опытами были подобраны напряженность магнитного поля и скорость в нем бидистиллята, при которых изменения спектра были наиболее значимыми (напряженность магнитного поля 415 кА/м или 5200 Э и скорость бидистиллята 0,6 м/с).

При проведении опытов газовую кювету заполняли парами бидистиллята, подвергнутого или не подвергнутого магнитной обработке. Спектр записывали через 1—1,5 ч после обработки. На рис. 7 приведены характерные спектры паров воды в отсутствие магнитной обработки и после нее. На рисунке показаны только те участки спектрограмм, на которых отмечены наиболее существенные изменения. Спектры паров исходной воды сверяли с калибровочной спектрограммой, прилагаемой к прибору Fis-3. Разность между параллельными определениями не превышала 2%. Как видно из рис. 7, существенные изменения спектра наблюдаются в областях 327—323, 282—276 и 111—60 см⁻¹. Изменения отдельных пиков и интенсивностей достигают 15%. Наблюдениями в течение ряда лет отмечено, что в марте — апреле вращательные спектры паров воды, как исходной, так и обработанной, меняются [40].

Полученные на начальном этапе данные о влиянии магнитной обработки на ИК-спектры воды не позволяют пока еще сделать конечные выводы о характере изме-



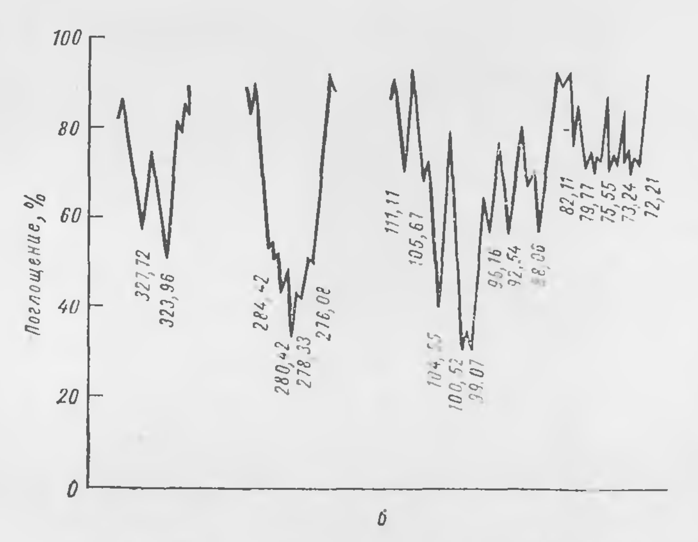


Рис. 7. ИК-спектры паров обычного (*а*) и омагниченного (*б*) бидистиллята.

нения структуры воды. Необходимо продолжить исследования в этом направлении. Однако имеющиеся уже данные свидетельствуют об определенном влиянии магнитной обработки воды, содержащей примеси, на ее ИК-спектры. Следует отметить появление первых теоретических исследований в этом направлении, в которых обосновывается возможность изменения ИК-спектров омагниченной воды и вероятность обнаружения таких изменений в дальней ИК-области (0—800 см$^{-1}$) [19, с. 18—22].

Магнитная восприимчивость

Влияние магнитной обработки на это свойство дистиллированной воды и более концентрированных растворов исследовали различными методами.

В. Е. Зеленков и Ю. К. Чернов воспользовались модифицированным методом Квинке, основанным на измерении перемещения столбика жидкости в магнитном поле [41]. Прибор обеспечивал точность измерений около 1%; абсолютное значение средней квадратичной ошибки составило 0,3 относит. единицы. Тщательное исследование влияния температуры на показания прибора показало, что при ее повышении с 20 до 25°С эти показания не выходят за пределы инструментальной ошибки. Во всех дальнейших опытах температура находилась в этих пределах. Объектами исследования были: а) бидистиллят с удельной электропроводностью 0,26 мСм·м$^{-1}$; б) дистиллированная вода с удельной электропроводностью 1,3 мСм·м$^{-1}$ и в) природная вода* с удельной электропроводностью 410 мСм·м$^{-1}$. Магнитную обработку воды проводили следующим образом. Стеклянный сосуд с водой вращали в магнитном поле соленоида, ориентированном вдоль оси вращения. Ток поступал в соленоид через однополупериодный выпрямитель, поэтому напряженность магнитного поля достигала 400 кА/м (5000 Э). Вращаясь в пульсирующем магнитном поле, вода многократно пересекала его силовые линии.

Многими опытами было установлено, что при питании соленоида постоянным током и переменным невып-

* В г. Алма-Ата.

рямленным при отсутствии вращения жидкости измене-
ние магнитной восприимчивости воды было незначи-
тельным. После магнитной обработки изменение магнит-
ной восприимчивости растворов является экстремальной
функцией трех переменных: частоты вращения, времен

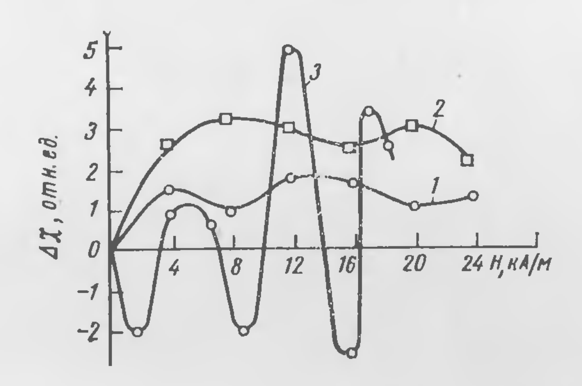


Рис. 8. Изменение магнитной восприимчивости воды Δχ после маг-
нитной обработки при разной напряженности магнитного поля:
1 — бидистиллят; 2 — дистиллят; 3 — природная вода.

обработки и напряженности магнитного поля. Зависи-
мость магнитной восприимчивости различной воды о
напряженности магнитного поля (при частоте вращени
27 об/мин и продолжительности обработки 10 с) приве
дена на рис. 8. Каждая точка представляет собой сред
нюю величину из восьми измерений.

Из рис. 8 видно, что парамагнетизм природной воды
периодически изменяется с ростом напряженности маг
нитного поля (в условиях опыта период осцилляции бы
равен 5,6 кА/м или 70 Э). В результате магнитной обра
ботки такая вода может стать как более парамагнит
ной, так и более диамагнитной. При обработке дисти
лированной воды с уменьшением концентрации посто
ронних ионов происходит только увеличение магнитно
восприимчивости, и полиэкстремальность выражен
слабее.

На рис. 9 показано изменение магнитной восприи
чивости воды с течением времени. Отмечено очень инт

ресное нарастание эффекта после обработки, а затем замедленное самопроизвольное его исчезновение. Время нарастания эффекта уменьшается с увеличением степени чистоты воды. Время релаксации возрастает для воды, содержащей большее количество примесей (заметим,

Рис. 9. Изменение магнитной восприимчивости воды Δχ после магнитной обработки:
1 — бидистиллят; 2 — дистиллят; 3 — природная вода.

что подобное изменение диамагнитной восприимчивости воды со временем после ее магнитной обработки отмечено также С. Т. Усатенко и В. И. Морозовым [40]).

На рис. 10 показана качественная зависимость магнитной восприимчивости наиболее чистой воды 1 в момент магнитной обработки от концентрации кислорода в ней. При магнитной обработке воды в герметичном, полностью заполненном сосуде ее магнитная восприимчивость изменяется при изменении напряженности магнитного поля в пределах 8—11,9 кА/м (100—150 Э). Если вода контактирует с воздухом, то влияние магнитной обработки начинает проявляться уже при напряженности поля 4 кА/м (50 Э). Предварительное насыщение воды кислородом естественно отражается на начальном значении магнитной восприимчивости воды.

Поскольку вода, подвергнутая магнитной обработке в отсутствие контакта с воздухом, уже содержала определенное количество кислорода, эти опыты не позволяют

судить о его роли в достижении максимального эффекта магнитной обработки. Но из сопоставления кривых *1* и *2—4* (рис. 10) видно, что магнитная обработка способствует растворению кислорода в воде. Изучение поведения кислорода при магнитной обработке воды представляет существенный интерес.

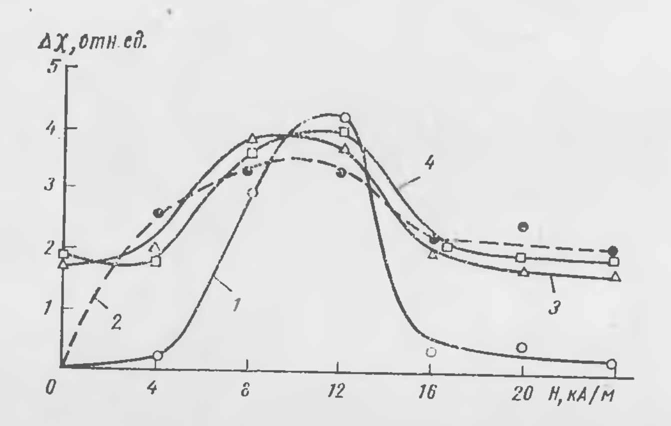


Рис. 10. Зависимость магнитной восприимчивости воды после магнитной обработки от концентрации в ней кислорода:
1 — контакт воды с воздухом отсутствует; *2* — имеется контакт с воздухом; *3* — барботаж кислорода при 18 °С; *4* — то же, при 10 °С

В работах [42, 43] описаны результаты исследования изменения магнитной восприимчивости растворов методом Гуи. Проведенные опыты позволили установить, что после магнитной обработки диамагнетизм дистиллированной воды усиливается, причем это усиление сохраняется в течение 3—5 мин. Несколько дольше усиление диамагнетизма сохраняется для растворов сульфатов цинка, натрия и магния. Магнитная восприимчивость разбавленных растворов сульфатов никеля и кобальта понижается, а концентрированных — возрастает. Зависимость магнитной восприимчивости от напряженности поля, скорости потока и времени после обработки носит экстремальный характер.

В. К. Максимов, В. Л. Чернобай и В. И. Классен провели опыты с растворами Na_2SO_4, $CaSO_4$, Na_2CO_3, $NaCl$, $FeCl_3$, $Co(NO_3)_2$ и $NiSO_4$ в дистиллированной воде. Магнитную восприимчивость измеряли по методу Гуи, позволяющему фиксировать ее изменение порядка $5 \cdot 10^{-11}$. При этом были получены результаты, близкие к приведенным выше. Наиболее интересные данные получены с дистиллированной водой, электропроводность которой составляла 0,199 мСм·м$^{-1}$. В качестве основных примесей в воде присутствовали ионы Mg^{2+} (0,81 мг/л), HCO_3^- (4,3 мг/л) и следы общего железа (≈0,08 мг/л). Опыты проводили при 20—45 °С (рис. 11). Как показали результаты этих опытов, при магнитной обработке диамагнитные свойства данного дистиллята усиливаются, причем наблюдается экстремальная зависимость от напряженности поля. Кроме того, после обработки заметно уменьшается аномалия при температурах около 35 °С. Эти данные (публикуемые впервые) свидетельствуют о влиянии магнитной обработки на структуру воды (изменения которой обусловливают аномалию вблизи точки Кюри, находящейся в указанной области температур).

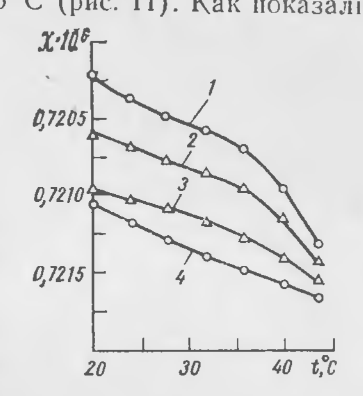


Рис. 11. Зависимость магнитной восприимчивости дистиллята от температуры:
1 — без магнитной обработки; *2, 3, 4* — после магнитной обработки при напряженности поля, соответственно 56, 104 и 88 кА/м (800, 1300 и 1100 Э).

Э. М. Пинт, Г. А. Зиновьев [32, с. 72—75] для определения магнитной проницаемости технической воды, предварительно подвергнутой магнитной обработке, применяли экранированный индуктивный датчик; точность отсчета индуктивности составила ±1 мкГ. Изменение индуктивности было прямо пропорционально изменению магнитной проницаемости воды, протекающей внутри сердечника катушки.

Опыты показали, что при магнитной обработке полем напряженностью 40 кА/м (500 Э) индуктивность датчика возрастает на 20 мкГ; при обработке же полем напряженностью 118 кА/м (1500 Э) — индуктивность уменьшается на 20 мкГ. Э. М. Пинт и Г. А. Зиновьев попытались тривиально объяснить эти результаты намагничиванием частиц железа (в воде было около

2 мг/л железа). Тогда остается непонятным, как объяснить снижение магнитной проницаемости при другой напряженности магнитного поля. По-видимому, такое простое объяснение нельзя признать правильным.

Таким образом, всеми исследованиями влияния магнитной обработки дистиллята и водных растворов на их свойства отмечено изменение их магнитной восприимчивости (несмотря на относительную слабость полей и кратковременность воздействий). Мнение же о том, что представляется весьма маловероятным обнаружить эффект магнитной обработки воды, оказалось несостоятельным при высокой точности измерений. В большинстве случаев отмеченные изменения обусловлены примесями, но в ряде случаев возможно и изменением структуры воды под влиянием примесей.

Электропроводность

Электропроводность воды зависит от концентрации и подвижности ионов. Даже чистая вода характеризуется определенной электропроводностью, обусловленной ее диссоциацией на ионы гидроксила OH^- и гидроксония H_3O^+. Удельная электропроводность воды составляет 3,8 мкСм·м$^{-1}$, а воды, контактирующей с двуокисью углерода воздуха, 80 мкСм·м$^{-1}$. В литературе содержатся весьма противоречивые сведения о влиянии магнитной обработки воды (бидистиллята, дистиллята и т. д.) на ее электропроводность. Это можно объяснить зависимостью электропроводности от множества факторов, в том числе от таких, как возраст воды и характер примесей. Электропроводность воды, полученной из пара, всегда больше электропроводности воды, полученной изо льда [44]. Наши опыты показали, что свойства движущейся воды, в том числе и электропроводность, заметно отличаются от свойств неподвижной воды [45]. С. Борди и Ж. Папеши [20] отметили, что перемешивание воды в магнитном поле сказывается на ее электропроводности. Ниже приведены данные об изменении электропроводности бидистиллята после магнитной обработки в оптимальном режиме [19, с. 28], мкСм·м$^{-1}$

Номер пробы	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Перед магнитной обработкой	167,6	169,2	355,5	211,0	197,[illegible]	159,6	306,3	238,6	252,9
После магнитной обработки	156,4	152,1	315,0	196,3	180,[illegible]	147,8	250,8	296,1	185,2

Как видно из приведенных данных, электропроводность после обработки обычно понижается (что, кстати, исключает возможное влияние внесенных примесей при магнитной обработке). Между тем, именно загрязнениями воды О. И. Молоканов с соавторами объясняют изменение электропроводности [12, с. 87—92]. Они обрабатывали очень чистую воду (электропроводность 4 мкСм·м$^{-1}$) при условии изоляции ее от полюсов магнитов и контакте с ними.

В. Е. Зеленков, А. А. Мусина и В. К. Кульсартов установили изменение (возрастание) электропроводности природной воды после магнитной обработки; в их опытах время релаксации составило 8—10 ч. Анализ частотных характеристик импеданса и фазового сдвига электродно-химической поляризации свидетельствовал о значительном увеличении подвижности ионов-зарядоносителей [46].

Следует отметить, что при измерении электропроводности вода подвергается слабым электромагнитным воздействиям, которые могут нивелировать последствия магнитной обработки.

Как уже отмечалось, магнитная обработка воды (с различными примесями) влияет на ее электропроводность, однако механизм такого воздействия может быть весьма различным. В частности, В. И. Миненко связывает это с изменением концентрации растворенных газов или с уменьшением ионного произведения воды [34, с. 28].

Имеется публикация и о том, что магнитная обработка дистиллята не оказывает влияния на его электропроводность [47]. Однако опыты, описываемые в этой работе, были проведены без должной оптимизации режима обработки (не варьировали напряженность поля, скорость потока и т. п.), но техника измерений при этом была высокой.

Диэлектрическая проницаемость

Этот параметр является важной и объективной характеристикой электрических свойств воды; ее измене-

ние после магнитной обработки отмечено во многих работах, например в работе Д. И. Уманского [48]. Г. Эльзбутас, Т. Хверещас и К. Саснаускас подвергали магнитной обработке дистиллированную воду (удельная электропроводность $2,1 \cdot 10^{-4}$ См·м$^{-1}$) и водопроводную воду (удельная электропроводность 0,048 См·м$^{-1}$, общая жесткость около 4 мг-экв/л). Наиболее четкие изменения действительной и мнимой частей диэлектрической проницаемости отмечены для водопроводной воды. Эти изменения наблюдаются при обработке воды сравнительно слабым магнитным полем (поля большей напряженности вызывают менее четкие изменения) и оптимальной скорости ее течения. Для льда, полученного из обработанной воды, отмечено изменение тангенса угла диэлектрических потерь [12, с. 228—230; 49].

П. И. Госьков, Г. С. Госькова, Г. А. Желтовский и В. А. Салихов [12, с. 74—79] оценивали изменение диэлектрических свойств воды после магнитной обработки фазометрическим и диэлектрическим методами. Первый метод основан на различии фазовых соотношений электромагнитных колебаний, прошедших через омагниченную и неомагниченную воду. Второй метод основан на различии свойств колебательного контура и емкости, образованной измерительным конденсатором, заполненным исследуемой водой. В обоих случаях отмечено изменение свойств воды, содержащей примеси, после магнитной обработки. Жесткость воды изменялась в пределах 6,5—3,5 мг/л. Этими опытами также установлена полиэкстремальная зависимость диэлектрических свойств от напряженности магнитного поля.

В. Е. Зеленков, А. А. Мусина и В. К. Кульсартов установили, что магнитная обработка природной воды приводит к уменьшению диэлектрической проницаемости. При этом также отмечено смещение критической частоты аномальной дисперсии диэлектрической проницаемости в высокочастотную область, характерную для чистой воды (частота порядка 10^{10} Гц). Это свидетельствует об уменьшении периода собственных колебаний молекул воды и о приобретении ими бо́льшей свободы (по-видимому, это объясняется меньшей гидратацией ионов и их ассоциатов) [46].

Б. Е. Баталин, основываясь на теоретическом анализе, считает, что увеличение диэлектрической проницаемости воды при движении в магнитном поле обусловлено поляризацией ее молекул [50]. В присутствии солей, способных гидролизоваться, увеличение диэлектрической проницаемости должно ускорить реакции гидролиза, что в свою очередь должно привести к увеличению числа зародышей твердой фазы. Этим и объясняется последействие магнитного поля. Результаты большого числа опытов, проведенных Б. С. Баталиным с солями NaCl, $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ и $FeSO_4$, добавляемыми к дистилляту, пропускаемому через магнитное поле, подтвердили сделанные им теоретические предпосылки.

Вязкость

О влиянии магнитной обработки водных систем на их вязкость существуют разноречивые мнения. Так, В. И. Миненко с соавторами отмечают возрастание вязкости омагниченной воды на 3—4% [51], Д. Ф. Файзуллаев, С. Джурабеков, А. А. Шакиров и С. Абидов — ее уменьшение [52]. Такое различие, по-нашему мнению, во многом зависит от точности метода измерения вязкости, особенно — от режима течения воды в вискозиметре и от некоторых обычно не учитываемых факторов, влияющих на структурно-чувствительные свойства воды.

Влияние конструкции вискозиметра на точность измерения отчетливо прослеживается при измерении вязкости талой воды. Еще Е. Линдгрен (E. R. Lindgren) отметил влияние диаметра трубки вискозиметра на результаты измерения. И. К. Никитин с соавторами при измерении вязкости талой воды капиллярным вискозиметром не обнаружили ее повышения, при измерении же вискозиметром Геплера они отмечают существенное увеличение вязкости, самопроизвольно снижающейся до обычной в течение 3—6 суток [53], что еще раз свидетельствует о структурной релаксации воды.

Имеются сведения о том, что под воздействием магнитного поля пузырьки газа в воде, находящейся в стеклянном капилляре, при очень небольшом градиенте давления (50—100 Па) перемещаются медленнее по сравнению с их перемещением в отсутствии поля [12, с. 59—64]. Очевидно магнитное поле влияет не только на объемную вязкость воды, но и на физико-механические свойства ее тонких пристенных слоев. В работе

отмечена необходимость строгого соблюдения одного и того же времени выстаивания воды перед опытами в спокойном состоянии. Также необходимо выдерживать постоянным «возраст» воды — время после ее конденсации. Замечено, что трехдневная вода наиболее подвержена воздействию магнитного поля. Возможно, это связано с постепенным ее насыщением кислородом воздуха.

Опыты проводили с дистиллированной водой удельной электропроводностью 1,5—2,0 мкСм·м⁻¹; напряженность магнитного поля составляла 111±1,6 кА/м (140±20 Э). Достоверно установлено, что под влиянием магнитного поля происходит заметное (на 1—2%) замедление движения пузырька. После прекращения воздействия поля эта аномалия самопроизвольно исчезает.

При воздействии однородного постоянного магнитного поля на покоящуюся воду вязкость ее не изменяется. Это отмечено В. Б. Евдокимовым и В. А. Зубаревым методом оценки поведения броунирующих частиц [54].

Химические реакции

В литературе имеются сведения о влиянии магнитной обработки водных систем на кинетику химических реакций. В. С. Духанин в работе [55] приводит ряд наглядных и, по-видимому, надежных результатов. Им изучено влияние предварительного омагничивания на разложение перекиси водорода в присутствии вольфрамата натрия. Эти данные свидетельствуют о значительном изменении скорости разложения после воздействия магнитного поля. Эффект зависит от напряженности магнитного поля (рис. 12). Значения напряженности в экстремальных точках соответствуют результатам, наблюдаемым при изучении влияния омагничивания на скорость ультразвука. Следовательно, изменение скорости разложения является следствием определенных изменений структуры системы вода — перекись водорода. Образование своеобразных гидратов на основе водородной связи, как показали Д. Г. Кнорре и Н. М. Эмануэль, может существенно влиять на ход химических реакций.

Недавно В. Патровский установил, что при магнитной обработке воды в ней появляется небольшое количе-

ство перекиси водорода. При проведении опытов 1 л омагниченной воды замораживали почти полностью; в остаточной незамерзшей жидкости концентрировалась перекись водорода. Эту воду подкисляли. Для удаления свободного хлора добавляли хлорокись гидраксиламина.

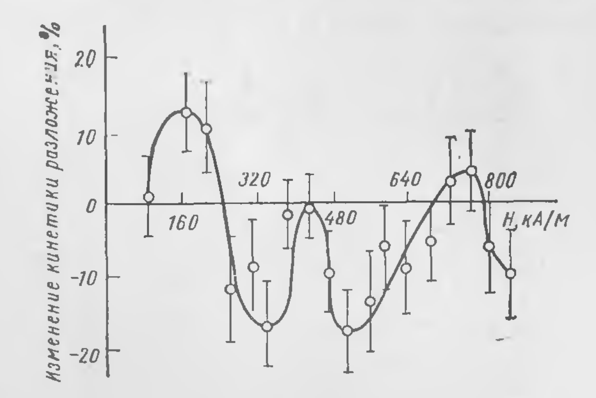


Рис. 12. Влияние напряженности магнитного поля на изменение скорости разложения перекиси водорода.

Затем вводили определенное количество иодата калия и 2%-ный раствор крахмала. По интенсивности голубой окраски количественно оценивали содержание перекиси водорода.

Как показали результаты опытов, в воде, прошедшей через магнитное поле сплошным потоком, содержится $5 \cdot 10^{-5}$ % перекиси водорода. Та же вода, распыленная в том же поле воздушным потоком, содержала $1{,}7 \cdot 10^{-4}$ % перекиси водорода [56]. Автор полагает, что перекись водорода образуется в результате реакции воды с растворенным кислородом. Однако это маловероятно, так как эта реакция является очень энергоемкой. Возможно, в образовании перекиси водорода определенную роль играют свободные радикалы. Опыты В. Патровского, как нам кажется, имеют важное значение, но нуждаются в проверке.

Магнитная обработка также значительно влияет на каталитическое разложение перекиси водорода в присутствии ионов меди; степень влияния магнитной обработки зависит от их гидратации.

Магнитная обработка значительно замедляет распад перекиси (по данным В. С. Духанина, это соответствует увеличению гидратации ионов меди после магнитной обработки).

Установлено значительное влияние предварительного омагничивания на скорость окисления щавелевой кислоты перманганатом калия. Эта скорость после магнитной обработки существенно возрастает. Любопытно, что свойства этой же системы, помещенной на длительное время в магнитном поле, не изменялись, т. е. система не подчинялась правилу Батнагара.

* *
*

Таким образом, уже накоплены обширные, достаточно надежные и хорошо согласующиеся между собой экспериментальные данные об изменении многих взаимосвязанных свойств гомогенных водных систем (включая и бидистиллят), подвергнутых магнитной обработке. При этом обычно отмечается экстремальная и поли-экстремальная зависимость изменения свойств от напряженности магнитного поля и преимущественное влияние на эти изменения переменных полей. Подавляющее большинство эффектов характеризует изменения, обусловленные влиянием магнитных полей на примеси (прежде всего — ионы) в воде и зависящие от характера и концентрации этих примесей. Однако получены и другого рода данные, свидетельствующие о слабых изменениях свойств собственно воды. В ряде случаев отмечается плохая воспроизводимость опытов, что обусловлено, по-видимому, недостаточной стабилизацией всех основных факторов, влияющих на электромагнитную обработку водных систем.

Описанные в этом параграфе эффекты не сопровождаются видимым образованием новых фаз. Но в большинстве случаев могут быть прямо или косвенно связаны с образованием ионных и молекулярных ассоциатов и высокодисперсной новой фазы.

2. ГЕТЕРОГЕННЫЕ СИСТЕМЫ

В наибольшей степени электромагнитная обработка влияет на гетерогенные водные системы или процессы связанные с фазовыми превращениями (растворением кристаллизацией и др.). Достигаемые при этом эффекты наиболее заметны (что, возможно, является следствием своеобразного «умножающего» действия развитой поверхности раздела фаз) и, естественно, сохраняются большее время (в ряде случаев они необратимы). По мнению Н. В. Чураева, именно в этих случаях замедляется скорость перехода системы в равновесное состояние.

Поверхностное натяжение и адсорбция

Изменение поверхностного натяжения воды после магнитной обработки объясняется отдельными авторами по-разному. Некоторые исследователи считают, что такого изменения вообще не происходит, либо оно является незначительным. В. И. Миненко с соавторами отмечают увеличение поверхностного натяжения 1—3 мН/м. В работе К. Джохи и П. Камат это изменение достигает 5 мН/м [57]. Они проводили опыты с чистой дистиллированной водой, находящейся в равновесии с газами воздуха (удельная электропроводность воды 85 мкСм·м$^{-1}$).

Причины такого несоответствия результатов, полученных в различных лабораториях, очевидно связаны с неконтролируемым присутствием в воде поверхностно-активных веществ, которые могут попадать из воздуха. А. Д. Кущенко и Л. И. Богуславский не отметили влияния магнитных полей на поверхностное натяжение дистиллята [47]. Но они не оптимизировали напряженность магнитного поля и скорость течения в нем воды.

А. Н. Гребнев с соавторами показали, что магнитная обработка приводит к значительному изменению адсорбции ПАВ на границе раздела жидкость — газ. Опыты проводили с бидистиллятом (удельная электропроводность 100—200 мкСм·м$^{-1}$), в котором растворяли гексадецилсульфат натрия. Концентрация раствора составляла $2\cdot10^{-4}$ и $4{,}0\cdot10^{-4}$ моль/л, т. е. была ниже и выше критической концентрации мицеллообразования — ККМ (для условий опыта эта концентрация была равна $3\cdot10^{-4}$ моль/л) [12, с. 133]. Поверхностное натяжение измеряли методом максимального давления при образовании пузырьков и тщательном термостатировании системы (±0,01 °С). Статистическая обработка результатов показала, что коэффициент вариации измеренных значений находится в пределах 0,7—1,35 %, а

доверительный интервал с 95%-ной вероятностью составляет 0,15—0,68 мН/м. Растворы суточного возраста подвергали магнитной обработке, пропуская их со скоростью 1,7—2,0 м/с через девять магнитных полей с варьированием напряженности от 0 до 126 кА/м (1600 Э).

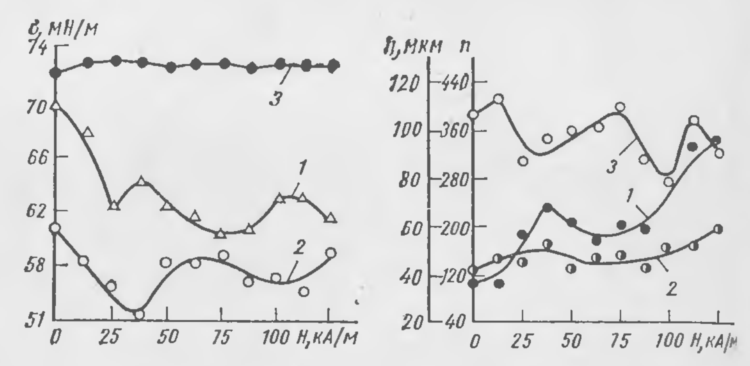


Рис. 13. Зависимость поверхностного натяжения σ от напряженности магнитного поля H:

1 — раствор гексадецилсульфата натрия с концентрацией ниже ККМ; 2 — то же, концентрацией выше ККМ; 3 — бидистиллят.

Рис. 14. Влияние магнитной обработки дистиллированной воды (1) и раствора гексадецилсульфата натрия (2) на размер пузырьков воздуха и количество увлекаемой ими воды (3):

n — число пузырьков; h — средняя толщина водной оболочки, увлекаемой пузырьками

Проведенные опыты позволили установить, что магнитная обработка приводит к резкому изменению поверхностного натяжения раствора, причем это изменение находится в периодической зависимости от напряженности магнитного поля (рис. 13) и по абсолютной величине на порядок превышает возможную ошибку. Экстремальные точки кривых, отвечающих растворам с концентрацией ниже и выше ККМ, совпадают. Наиболее заметно влияние магнитной обработки на растворы, в которых концентрация поверхностно-активного вещества ниже ККМ; в этом случае поверхностное натяжение снижается на 13%; в более концентрированных растворах оно уменьшается максимально на 10%.

Увеличение адсорбции ПАВ на разделе жидкость — газ происходит не только после магнитной обработки раствора, но и после добавления ПАВ к ранее омагниченному дистилляту. Например, В. И. Миненко обнаружил значительное (на 6—8 мН/м) уменьшение поверхностного натяжения воды, в которую после магнитной обработки добавили соль четвертичного аммониевого основания, по сравнению с поверхностным натяжением воды с этой же добавкой, но не подвергнутой магнитной обработке [34].

Описанные результаты влияния магнитной обработки на адсорбцию гексадецилсульфата натрия на границе раздела жидкость — газ хорошо согласуются с данными, характеризующими изменение дисперсности пузырьков воздуха и их гидратированности [12, с. 139]. Это подтверждается следующими опытами. В раствор гексадецилсульфата натрия ($4 \cdot 10^{-4}$ моль/л) через капилляр диаметром 0,2 мм под давлением 6,7 кПа вводили пузырьки воздуха, которые в ходе опыта фотографировали и подсчитывали их число (погрешность измерений около 5%). Измеряли также количество воды, «присоединенной» к пузырькам и увлекаемой ими через слой неполярной жидкости (нормального октана). Погрешность измерений также не превышала 5%. Результаты опытов, приведенные на рис. 14, показывают, что при магнитной обработке значительно изменяется как размер пузырьков, так и количество увлеченной ими воды. Эти характеристики изменяются также и при магнитной обработке дистиллированной воды (возможно это обусловлено неконтролируемым количеством примесей ПАВ). Изменение степени адсорбции ПАВ на поверхности омагниченного дистиллята сопровождается также изменением свойств мономолекулярных адсорбционных слоев. Прямые измерения, выполненные Габриелли и Фикалби, показали, что мономолекулярный слой пальмитиновой кислоты на поверхности омагниченного дистиллята имеет значительно меньшее поверхностное давление, чем на поверхности дистиллята неомагниченного [58].

Следует также отметить данные С. Борди и Дж. Папеши, свидетельствующие об изменении поверхностного натяжения на поверхности раздела ртуть — раствор хлористого кальция; последний был подвергнут магнитной обработке до контакта со ртутью [20].

Влияние магнитной обработки раствора на степень адсорбции поверхностно-активных веществ на границе раздела твердое — жидкость исследовано в меньшей мере. Следует отметить результаты опытов В. Н. Классена, М. А. Орла, Н. Т. Цанкова и Р. А. Кабировой, позволившие установить радиометрическим методом (с контролем перманганатным методом), что магнитная обработка водного раствора олеата натрия способствует значительному увеличению степени закрепления этого реагента на поверхности частиц фосфорита, доломита и кварца. При этом максимальная степень адсорбции отмечается при определенной (но не максимальной) напряженности магнитного поля (рис. 15) [59].

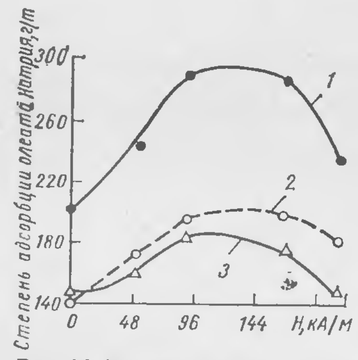


Рис. 15. Влияние магнитной обработки водного раствора олеата натрия на степень адсорбции последнего фосфоритом (1), доломитом (2) и кварцем (3).

Растворение

Влияние магнитной обработки воды на процесс растворения в ней различных веществ начали исследовать после получения многочисленных сведений о своеобразном распаде накипи в паровых котлах при переводе их на питание омагниченной водой. В дальнейшем также разрушение накипи стало как бы индикатором удовлетворительной работы магнитных противонакипных устройств.

Первые лабораторные исследования влияния омагниченной воды на кинетику растворения накипи были проведены Б. П. Татариновым и Е. А. Кирий [30, с. 25]. Пробы накипи содержали 51,5% CaO, 34,4% CO_2, 4,8% Fe_2O_3 и 1,5% MgO. Эти пробы кипятили в омагниченной и обычной водопроводной воде примерно 500 ч; периодически пробы взвешивали. Результаты опытов, приведенные на рис. 16, свидетельствуют о значительно более быстром растворении накипи в омагниченной воде.

В дальнейшем Г. Н. Тихомиров [12, с. 283—288] провел тщательные эксперименты, позволившие сопоставить растворение накипи в обычной и омагниченной технической воде (общая жесткость 0,4 мг-экв/л; концентрация ионов, мг/л: Ca^{2+} — 6,1, Mg^{2+} — 1,2, Na^{+} — 4,3, K^{+} — 0,7, HCO_3^{-} — 15,8, SO_4^{2-} — 6,0, Cl^{-} — 0,5; pH 7,12). Растворение стандартных измельченных проб котельной накипи проводили параллельно в обычной и омагниченной (в оптимальном режиме) воде, с полной идентификацией теплового и гидродинамического режимов. Через каждые 2 ч регистрировали: pH, жесткость, электропроводность и оптическую плотность осветленного раствора. Результаты опытов показали, что растворы в омагниченной воде значительно светлее (тонкие взвеси растворены), их жесткость, pH и электропроводность значительно выше, чем в неомагниченной воде.

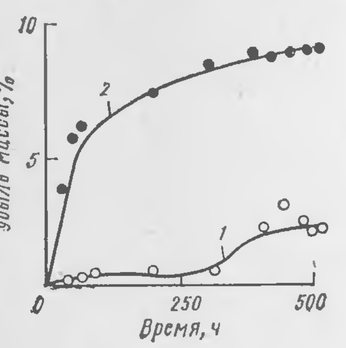


Рис. 16. Относительная убыль массы пробы накипи при кипячении в обычной (1) и омагниченной (2) воде.

Другими словами, в омагниченной воде накипь растворяется гораздо быстрее, чем в обычной. Эта закономерность подтверждена Г. И. Тихомировым, который исследовал под микроскопом идентичные шлифы накипи, помещенные в обычную и омагниченную воду (рис. 17). В последнем случае отчетливо видно выщелачивание шлифа.

О лучшем растворении в омагниченной воде карбонатов кальция и магния и других неорганических веществ свидетельствуют и данные П. С. Стукалова, Е. В. Васильева и Н. А. Глебова [60]. Улучшение растворения в омагниченной воде органических соединений установлено в работе А. Н. Гребнева с соавторами [12, с. 138]. В последней работе было исследовано растворение гексадецилсульфата и алкилсульфата натрия в бидистилляте в условиях строгого термостатирования. Концентрацию алкилсульфатов в растворе, осветленном центрифугированием, определяли титрованием бромистым цетилтри-



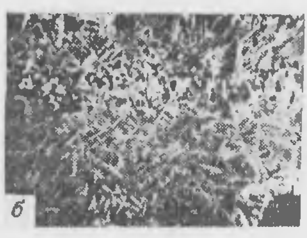


Рис. 17. Вид под микроскопом шлифов накипи после пребывания в дистиллированной воде обычной (*а*) и омагниченной (*б*).

метиламмонием. При этом установлено статистически достоверное увеличение на 20—70% растворимости* этих веществ в воде, причем зависимость процесса растворения от напряженности поля носит полиэкстремальный характер.

В. И. Классен, Р. Ш. Шафеев, Г. Н. Хажинская, Б. М. Корюкин и С. А. Стецкая выполнили большое число определений концентрации кислорода в бидистилляте (удельная электропроводность 190—80 мкСм·м⁻¹) до и после его магнитной обработки. Начальная концентрация кислорода была несколько ниже, чем при равновесии раствора с воздухом. Концентрацию кислорода определяли параллельно по методу Винклера и пирогалловым методом (по интенсивности окрашивания раствора, изменяющейся при взаимодействии пирогаллола с кислородом). Во всех случаях отмечено увеличение концентрации кислорода после магнитной обработки (рис. 18) [61]. Эффект более заметен при меньшей начальной концентрации кислорода (т. е. когда происходит растворение кислорода воздуха в воде). При

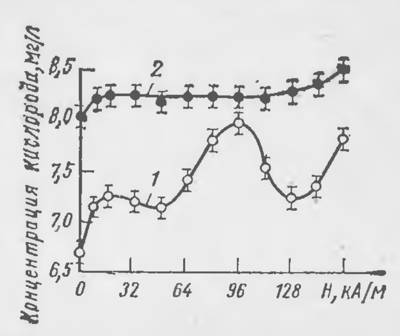


Рис. 18. Зависимость концентрации кислорода в воде, подвергнутой магнитной обработке, от напряженности поля и времени, прошедшего после обработки:
1 — 5 мин; *2* — 45 мин.

* В большинстве случаев речь идет об ускорении растворения; достижение равновесной растворимости не всегда контролировали.

определении концентрации кислорода через 3 ч после начала обработки увеличение ее не фиксируется. Следует отметить, что рассматриваемый эффект может быть следствием не только увеличения концентрации кислорода, но и повышения его химической активности.

Увеличение концентрации кислорода и, возможно, его активности оказывает влияние на многие физико-химические свойства воды, подвергнутой омагничиванию: изменяется ее смачивающая способность, биологическая активность и др.

Повышение концентрации кислорода в воде после магнитной обработки прослеживается и по косвенным признакам, например, по ее бактерицидному действию, изменению характера ряда химических реакций. К таким же выводам пришли и Л. Н. Великанова, В. А. Смирнов и В. Д. Семченко; они подвергали магнитной обработке дистиллированную воду, насыщенную кислородом (барботажем в течение 30—90 мин) и получили результаты, близкие нашим. Используя метод Винклера, они обнаружили, что концентрация кислорода увеличивается с 28 до 32 мг/л. Полярографическим методом установлено еще большее увеличение концентрации кислорода в воде после магнитной обработки [62].

Следует отметить, что все имеющиеся сведения о влиянии магнитной обработки на концентрацию в воде кислорода позволяют предполагать, что при обработке происходит какая-то химическая активация растворенного кислорода. Об этом же свидетельствует и бактерицидное действие омагниченной воды. Молекулярный механизм этой активации подлежит дальнейшему выяснению. Возможно, что в этом случае большую роль играют радикалы, возникающие при магнитной обработке воды.

Интересные результаты получены Л. Н. Ефановым и А. И. Михайловым при исследовании ими влияния магнитной обработки бидистиллята (электропроводность 50 мкОм⁻¹·м⁻¹, содержание железа меньше 10^{-10} г/л) на растворимость иода. При тридцатикратном избытке иода (по сравнению с количеством, которое может растворяться в данном объеме воды) время достижения равновесия раствора составляет примерно 45 мин. При тщательном термостатировании и титровании раствором

тиосульфата натрия с крахмалом определяли концентрацию раствора после 60-, 90- и 120-мин перемешивания взвеси иода в воде. В отдельных случаях к воде перед омагничиванием добавляли железо в виде раствора $FeCl_3$ или коллоидного раствора $Fe(OH)_3$. Результаты опытов, приведенные на рис. 19, показывают, что в омагниченном бидистилляте растворимость иода статистически достоверно возрастает. При добавлении железа влияние омагничивания ослабляется. Это свидетельствует о неправильности отнесения всех эффектов, наблюдаемых при магнитной обработке, к взаимодействию магнитного поля с примесями железа. Л. И. Авилова, С. С. Высотина, Л. Н. Ефанов и другие исследователи показали, что магнитная обработка влияет на растворимость в воде нитробензола [19, с. 146—149]. В. Н. Клаессен, А. Н. Гребнев, Н. И. Каленкевич и В. И. Варикаша отметили это применительно к мочевым камням [19, с. 154—158].

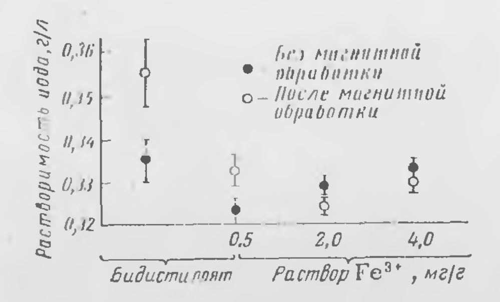


Рис. 19. Влияние магнитной обработки дистиллированной воды и концентрации в ней железа на растворимость иода.

Кристаллизация

Магнитная обработка водных систем нашла практическое применение прежде всего для ускорения кристаллизации в объеме, сопровождаемой уменьшением отложения солей на стенках. Различают кристаллизацию гомогенную и гетерогенную. В первом случае в отсутствие в воде микроскопических твердых частиц в отдельных участках объема возникают зародыши новой фазы, которые затем растут. Во втором, более распространенном случае, в воде заранее присутствуют частицы твердой фазы, играющие роль затравки.

Гомогенная кристаллизация происходит в три этапа: достижение пересыщения раствора, образование центров кристаллизации (зародышей кристаллов) и их дальнейший рост. Пересыщение раствора может быть общим и локальным, в отдельных его микрообъемах, что обусловлено флуктуацией концентрации солей. Для дальнейшего пересыщения необходимо создать условия, при которых происходит взаимная ассоциация ионов и молекул.

Пересыщенные растворы в обычных условиях могут долго сохраняться; кристаллизация возникает при введении затравки или механическом перемешивании, а также при ударе. Во время латентного периода кристаллизации возникшая твердая фаза не обнаруживается простыми оптическими средствами. Чтобы гидратированные ионы, скопившиеся в данном микрообъеме раствора, сблизились и образовали энергетически выгодные ассоциаты, необходимо создать определенные условия. При изучении нашей проблемы наибольший интерес представляет так называемый латентный (индукционный) период, во время которого образуются зародыши кристаллов и происходит их рост до заметных размеров.

Одним из таких условий является нарушение гидратной оболочки ионов. Отмечено (в частности О. Я. Самойловым), что центрами кристаллизации могут быть достаточно большие ионы, обладающие отрицательной гидратацией. Согласно Л. Д. Кисловскому [63], клатратные водные структуры, стабилизированные гексааквакомплексами кальция и являющиеся большими метастабильными ионами, могут служить центрами кристаллизации. Зародыш новой фазы возникает скачком. Его размер должен превышать критический (во избежание обратного растворения). Чем выше степень пересыщения раствора, тем меньшими могут быть размеры зародышей. Однако эта проблема нуждается в дальнейшем изучении [64, с. 3—17]. Скорость роста зародыша зависит от степени пересыщения раствора, природы кристаллизующегося вещества, подвижности ионов. При гетерогенной кристаллизации процесс сильно осложняется

природой затравки. Еще более сложным является мех[а]низм сокристаллизации примесей.

Влияние магнитного поля на процессы кристаллиза[-]ции исследовали неоднократно. В большинстве случае[в] речь шла о кристаллизации в магнитном поле. В рабо-

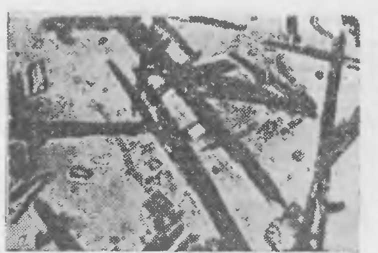




Рис. 20. Микрофотографии кристаллов $CaCO_3$, выделившихся пр[и] кипении воды:
а — без магнитной обработки; *б* — после магнитной обработки

тах Вермайерна впервые кристаллизация исследован[а] вне поля (последний обзор этих исследований дается [в] работе В. Л. Чернобая [64, с. 57—80]).

Все исследователи отмечают, что результатами ма[г]нитной обработки являются: бо́льшая скорость образо[-]вания кристаллов, меньшие их размеры и бо́льшее ко[-]личество по сравнению с этими показателями при кри[-]сталлизации в обычных условиях (рис. 20). Приведе[м] в качестве примера результаты опытов Е. Ф. Тебенихин[а] и Б. Т. Гусева [65], пропускавших техническую воду [и] искусственные растворы через магнитные поля с неболь[-]шой скоростью (0,1 м/с). Результаты опытов представ[-]лены на рис. 21.

Один из наиболее дискуссионных вопросов, касаю[-]щихся влияния магнитной обработки на кристаллиза[-]цию, это — является ли необходимым присутствие [в] растворе парамагнитных коллоидных частиц окисло[в] железа. Результаты ряда экспериментов показывают[,] что изменение показателей кристаллизации происходи[т] только тогда, когда в растворе присутствуют эти ча[-]стицы. Наиболее четкие результаты получены в рабо[-]те [65].

Были проведены опыты с раствором бикарбоната кальция, приготовленным на бидистилляте при практически полном отсутствии примесей железа. В этом случае никакого изменения процесса кристаллизации после омагничивания не наблюдалось. Развивая это направление, В. И. Катков и Е. Ф. Тебенихин [12, с. 274—283] полагают, что магнитная обработка эффективна только при образовании ферромагнитных агрегатов, которые под действием пондеромоторных сил вызывают перемешивание и ускоряют кристаллизацию из пересыщенного раствора, а также играют роль затравок. В подтверждение они приводят результаты опытов с растворами, в которые вводили суспензии магнетита Fe_3O_4 и окиси железа Fe_2O_3. При магнитной обработке эти частицы коагулируют. Опыты также показали, что эти частицы могут служить центрами кристаллизации и могут значительно ее ускорять.

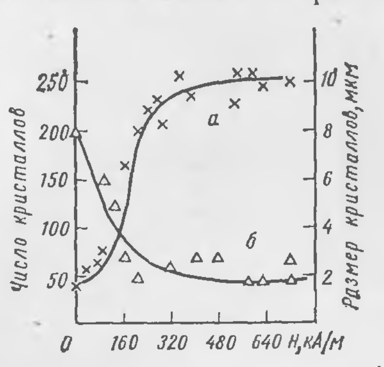


Рис. 21. Зависимость числа кристаллов солей жесткости в поле зрения (*а*) и размеров кристаллов (*б*) от напряженности поля при магнитной обработке.

Л. М. Михельсон связывает активирующее действие ферромагнитных частиц с изменением их активности [12, с. 268—273; 32, с. 3—61]. Между тем, имеются сведения о том, что влияние магнитной обработки на кристаллизацию не связано с присутствием в растворе железа в различных формах. Так, В. М. Соколов провел большое число опытов с растворами сульфата кальция в дистиллированной воде, в которые добавлял сульфат железа (0,5 мг/л) на разных стадиях процесса кристаллизации (табл. 4) [67].

Эти данные показывают, что при добавлении сульфата железа перед омагничиванием или после него эффект получается одинаковым. Но в присутствии железа процесс кристаллизации ускоряется. По-видимому, это связано с образованием золя гидроокиси железа, играющего роль затравки, т. е. в этом случае одновременно

Таблица 4. **Влияние сульфата железа на кристаллизацию сульфата кальция из его раствора**

Схема опыта	Концентрация пересыщенного раствора $CaSO_4$, при которой начинается кристаллизация C, г/л	Отношение C к концентрации, соответствующей насыщенному состоянию	Время от начала испарения до начала кристаллизации, мин
Дистиллят → раствор → испарение → кристаллизация	3,45±0,15	2,26	58
Дистиллят → сульфат железа → раствор → испарение → → кристаллизация	3,49±0,15	2,28	57
Дистиллят → омагничивание → → раствор → испарение → → кристаллизация	3,40±0,15	2,26	58
Дистиллят → омагничивание → сульфат железа → → раствор → испарение → → кристаллизация	1,34±0,15	0,88	22,5
Дистиллят → сульфат железа → омагничивание → → раствор → испарение → → кристаллизация	1,35±0,15	0,88	23,0

происходит гомогенная и гетерогенная кристаллизация.

Многие наши попытки стабилизировать эффект магнитной обработки добавлением к воде железа (в разных формах) не дали положительных результатов. Об этом же говорит и В. И. Миненко. Известны случаи уменьшения отложения инкрустаций из кислых (pH 1—1,5) растворов, ненасыщенных по железу (например, отложений фосфогипса из фосфорной кислоты). Присутствие коллоидных частиц железа в таких растворах является маловероятным.

Таким образом, присутствующие в воде ферромагнитные частицы в определенных условиях оказывают сильное влияние на результаты магнитной обработки. Однако в ряде случаев при должной оптимизации состава воды и определенных условиях обработки эффект ее заметен и в отсутствии железа. М. П. Йовчев в своей работе [68] также отмечает не обязательное присутствие железа. По-видимому, все зависит от конкретных условий опытов. Следует подчеркнуть, что и характер кристаллизации в присутствии затравки может определяться степенью гидратации ионов, присоединяющихся к кристаллам затравки.

Другой дискуссионный вопрос состоит в том, обязательно ли достижение пересыщения раствора перед магнитной обработкой. Ряд авторов полагают, что неравновесность раствора, необходимая для эффективного омагничивания, достигается только при пересыщении раствора солей. Отметим, что отсутствие равновесия может определяться и другими причинами (это рассмотрено подробнее в главе I).

Следует подчеркнуть, что влияние электромагнитного поля на процесс образования фаз обнаруживается и в тех случаях, когда ассоциируются не ионы, а молекулы, например, при замерзании воды (образование зародышей льда) [69]. После действия поля замерзание происходит быстрее и при более высокой температуре. Такие наблюдения сделаны и в нашей лаборатории.

О том, как велика роль многих неучитываемых факторов режима магнитной обработки в процессе кристаллизации, можно судить по результатам работы Дж. Мюллера и Х. Маршера [70]. Они выполнили много экспериментов, но мало уделили внимания режиму обработки. Они пришли к выводу, что «...ранние сообщения о положительных результатах магнитной обработки воды не выдерживают критики». Это находится в полном противоречии с многочисленными практическими результатами магнитной обработки воды.

В некоторых работах отмечено изменение состава и кристаллической модификации образующейся фазы после магнитной обработки раствора. При обработке воды перед нагревом образуется карбонат кальция в виде кальцита, а иногда и в виде арагонита [66], что зависит от степени пересыщения раствора, определяемой концентрацией свободной двуокиси углерода. Чем выше эта концентрация, тем вероятнее образование арагонита. Н. Н. Елисеев, М. В. Кирбитова и В. И. Классен установили, что после магнитной обработки раствора азотнокислого свинца и щелочи образуются кристаллы карбоната свинца, а не гидроокиси свинца (рис. 22) [71]. Это установлено рентгенографическим, электронографическим и химическим анализом, а также методом ИК-

спектроскопии. Вероятно, образование кристаллов кар-боната свинца после магнитной обработки являетс следствием увеличения содержания в растворе двуоки

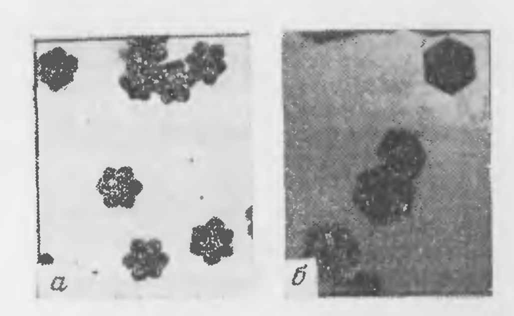


Рис. 22. Кристаллы, образующиеся после смешивания водного рас твора нитрата свинца с щелочью (×2400):
а — в обычных условиях; б — после магнитной обработки раствор

углерода, обусловленного абсорбцией ее из воздуха ил распадом бикарбонатов.

Полимеризация

Ускорение полимеризации акрилонитрила после воз действия низкочастотного (10 Гц) электромагнитног поля на водный раствор мономера установлено Пиккар ди, который использовал этот феномен в качестве одно го из индикаторов действия внешних наводок [72]. В на шей лаборатории были проведены развернуты исследования влияния магнитной обработки дистилли рованной воды (удельная электропроводность порядк 100 мкОм$^{-1}\cdot$м$^{-1}$) и водного раствора мономера на поли меризацию и свойства полиакриламидного геля [73, 74

Статистически достоверно установлено, что если под вергнуть магнитной обработке дистиллированную вод а затем внести в нее мономер и провести полимериза цию, то пробег белков в полученном полиакриламидно геле уменьшится. Если же подвергнуть магнитной обра ботке раствор мономера в дистиллированной воде, т этот пробег в полученном полиакриламидном геле воз растает (табл. 5). Известно, что подвижность белко зависит от структуры геля, на которую, очевидно, влияет магнитная обработка. Это подтверждено н

Таблица 5. Влияние магнитной обработки на пробег белков (альбумина) в полиакриламидном геле

Условия опыта	Число опытов	Средняя длина пробега, мм	Доверительный интервал	Изменение длины пробега, %
Омагничивание дистиллированной воды				
С магнитной обработкой	8	63,5	±0,7	—7,3
Без магнитной обработки	8	68,5	±0,7	
Омагничивание водного раствора мономера				
С магнитной обработкой	7	67,0	±1,3	+9,1
Без магнитной обработки	7	61,4	±0,9	

только косвенным методом (определением изменения пробега белков), но и несколькими прямыми методами. Методом газовой хроматографии установлено, что степень полимеризации (оцениваемая по количеству свободного акриламида в геле) после магнитной обработки достаточно разбавленных растворов мономера заметно повышается. Чем разбавленнее раствор, тем больше этот эффект. Для растворов мономера высокой концентрации он не наблюдается (табл. 6). Методами ЯМР и

Таблица 6. Влияние магнитной обработки водного раствора мономера на процесс полимеризации

Концентрация геля, %	Концентрация акриламида в геле, моль/см³		$\frac{C-C_1}{C}\cdot 100\%$
	без магнитной обработки (C)	с магнитной обработкой (C_1)	
3,5	4,5	2,7	40
7	7,0	3,4	51
11	7,5	5,3	29
17	6,2	6,2	0

ИК-спектроскопии установлено, что при магнитной обработке раствора мономера время спин-спиновой релаксации протонов полимера в геле изменяется на 15—20%, а также уменьшается интенсивность поглощения в обла-

сти валентных и особенно деформационных колебаний.

Таким образом, различными экспериментальными методами установлено, что магнитная обработка водного раствора мономера положительно влияет на его последующую полимеризацию; это может быть использовано в практических целях.

Смачивание

Если магнитная обработка водных растворов влияет на характер взаимодействия молекул воды друг с другом, то при этом должна изменяться и степень смачивания водой твердых поверхностей. Косвенным доводом в пользу того, что такое изменение возможно, служат данные Г. Л. Михневича и В. Г. Зарембы о разрушении ориентированной структуры жидкости в пристенных слоях под воздействием электромагнитного поля [75]. Первые экспериментальные данные о влиянии магнитной обработки дистиллированной воды на степень смачивания ею твердых поверхностей получены нами и Г. М. Маланьиным измерением гистерезисных краевых углов смачивания и теплот смачивания [76]. Затем И. Н. Плаксин, Г. Н. Хажинская и С. А. Стецкая, подвергая магнитной обработке также дистиллированную воду (удельная электропроводность 3 мСм·м$^{-1}$), подтвердили статистически достоверное изменение смачивания омагниченной водой ряда минералов: пирита, халькозина, халькопирита, а также касситерита, рутила и гюбнерита (рис. 23). Как видно из рис. 23, зависимость краевого угла смачивания от напряженности магнитного поля носит полиэкстремальный характер. Увеличение краевого угла смачивания на 6—8% далеко выходит за пределы погрешности опыта [77].

Результаты первых опытов показали, что омагниченная вода хуже смачивает любую поверхность. Однако опыты В. И. Классена, Г. Н. Хажинской и С. А. Стецкой показали, что поверхность минералов, содержащих двуокись кремния, такой водой смачивается лучше: краевой угол смачивания достоверно уменьшается (рис. 24) [78]. Это было проверено многократно и разными методами. Например, краевые углы смачивания, образуемые на кварцевой пластинке каплями омагниченных разбавленных растворов KNO_3 и $NaNO_3$, на 6—9% меньше углов при смачивании каплями неомагниченных растворов [79]. Степень поглощения воды песчаником (капиллярная пропитка) также изменяется: 1 г песчаника поглощает 6—7 мг обычной воды и 8—9 мг —

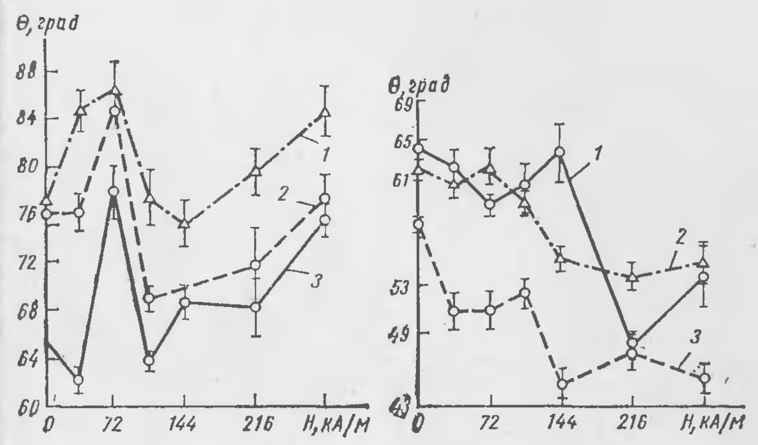


Рис. 23. Влияние напряженности магнитного поля при омагничивании дистиллированной воды на краевой угол смачивания ею минералов, не содержащих кремний:
1 — касситерит; 2 — рутил; 3 — гюбнерит.

Рис. 24. Влияние напряженности магнитного поля при омагничивании дистиллированной воды на краевой угол смачивания ею кремнийсодержащих минералов:
1 — кварц; 2 — кремень; 3 — опал.

омагниченной (т. е. на 10—15% больше) [80]. Возможно в дальнейшем будут обнаружены и другие особенности влияния омагничивания на смачивающую способность воды. Причины столь аномального влияния групп SiO_2 пока не ясны. Однако это не мешает успешному применению магнитной обработки технической воды при мокром улавливании пыли. По-видимому, изменение степени смачивания омагниченной водой можно объяснить не только взаимным «оттягиванием» молекул воды от твердой поверхности, но и изменением адсорбции на ней отдельных ионов и, тем самым, заряда поверхности.

2*

Коагуляция

Процесс слипания взвешенных в воде частиц зависи от степени гидратации и величины электрокинетическог потенциала их поверхности. Изменение смачиваемост твердых поверхностей после магнитной обработки воды описанное выше, должно оказывать влияние на коагуля цию, что и установлено многими разнохарактерным опытами в лабораторном и промышленном масштаба В большинстве случаев магнитной обработке подвергал различные суспензии. Это позволяло предполагать, чт коагуляция связана с различными воздействиями н твердые частицы. Однако результаты некоторых опыто показывают, что предварительная магнитная обработк воды, в которую затем были введены твердые частицы также влияет на степень их коагуляции.

В. И. Классен и Ю. З. Зиновьев экспериментальн установили, что при оптимизированном процессе маг нитной обработки дистиллированной воды (удельна электропроводность порядка 0,1—1 мСм·м$^{-1}$) скорост коагуляции частиц каолина и глинистого сланца разм ром менее 74 мкм возрастает [81]. Ускорение оседани суспензии после предварительного омагничивания е жидкой фазы — бидистиллята и растворов солей под тверждается результатами работы [82].

Я. Д. Климашин и С. А. Павлович получили таки же результаты, помещая измельченный феррит в пред варительно омагниченную воду. Эффект ускорения коа гуляции в этом случае был настолько четким, что им предложено использовать данный метод для фиксаци изменения свойств воды после магнитной обработки [83

Ускорение коагуляции и связанное с этим увеличени агрегативной неустойчивости суспензий после их маг нитной обработки фиксировались неоднократно многим авторами. Прежде всего имеются данные об изменени электрокинетического потенциала частиц железа и алю миния. При этом отмечено существование минимальног потенциала при определенной напряженности магнитно го поля [84].

О. И. Ушаков с соавторами исследовали влияни магнитной обработки водных суспензий барита и бело сажи на их коагуляцию. Они применили для этой цел ультрамикроскопический метод Б. В. Дерягина. Кон

центрацию золей в освещаемом потоке оценивали по числу вспышек, для регистрации которых использовали электронную схему. Ими установлено, что в ряде опытов размеры частиц золя барита увеличиваются в два раза, а белой сажи — в 1,5 раза [85].

А. И. Шахов и С. С. Душкин отметили, что при магнитной обработке природной воды скорость ее осветления увеличивается на 20—90% [86]. Они же установили, что скорость коагуляции гидроокисей алюминия и железа возрастает в 1,4 раза [84]. Мы также неоднократно фиксировали подобные изменения для различных систем (см., например, работу [87]). Впоследствии этот эффект был использован для улучшения процессов сгущения суспензий.

Данные по уменьшению агрегативной устойчивости суспензий в результате магнитной обработки хорошо согласуются с данными о возрастании сил сцепления твердых частиц в конденсированных системах (осадках, грунтах).

В. И. Классен, В. И. Литовко и Э. И. Русская определяли силы сцепления частиц методом А. Ваксмундского: фиксировали время начала и конца высыпания монодисперсных порошков из осадка в трубке, нижний конец которой был погружен в воду (рис. 25). Осадок

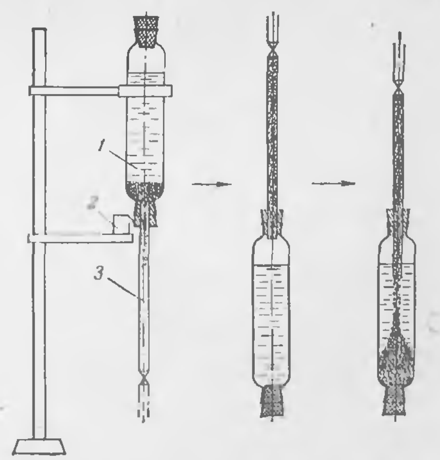


Рис. 25. Схема прибора для количественной оценки степени сцепления твердых частиц в осадке методом А. Ваксмундского:
1 — стеклянный сосуд; *2* — вибратор; *3* — трубка

из сосуда *1* переводят в трубку *2*, уплотняют стандартной вибрацией, а затем сосуд поворачивают на 180°. Проводя опыты с частицами разного размера, находят размер частиц, при котором они начинают высыпаться из трубки в воду. Время высыпания фиксируют, силу сцепления определяют по весу в воде частицы, которая отрывается от другой частицы. Результаты опытов показали, что в омагниченной при оптимальном режиме дистиллированной воде (с удельной электропроводностью 150 мкСм·м$^{-1}$) сила сцепления частиц возрастает в 1,5—4 раза (рис. 26). Оценка предельного напряжения сдвига осадков углистого сланца методом Ребиндера—Семиненко (вдавливанием шарика) также показала значительное упрочнение структуры; эффект возрастает с увеличением плотности осадка. Память омагниченной воды — время сохранения ею изменения силы сцепления частиц — составляет 2—4 ч (рис. 27) [12, с. 203—209].

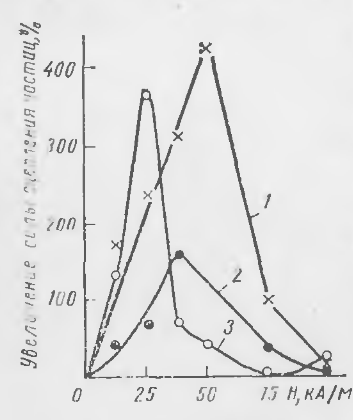


Рис. 26. Влияние магнитной обработки дистиллята на силу сцепления в осадке частиц апатита (*1*), барита (*2*) и углистого сланца (*3*).

Л. П. Черняк, И. П. Нестеренко, С. П. Ничипоренко и Р. М. Зайонц, исследуя изменение структуры глинистых тел, приготовленных на омагниченной воде, обнаружили значительное увеличение сил сцепления между глинистыми частицами и упрочнение коагуляционной структуры — увеличение предела текучести, наибольшей пластической вязкости. Это подтверждено также результатами, полученными методами рентгеновского и электронно-микроскопического анализов [88]. Р. П. Заднепровский установил усиление липкости грунтов (суглинка) — их прилипание к твердым поверхностям — в том случае, когда грунты были увлажнены омагниченной, а не обычной водой [89]. Число подобных наблюдений достаточно велико. С этими результатами согласуются и результаты исследования влияния магнитной обработки на процесс коагуляции синтетического латекса [19, с. 190—194]. Подобные результаты получены Н. И. Елисеевым, Н. В. Кирбитовой и Н. Г. Пирамидиной при изучении коагуляции осадков в растворах нитрата свинца, сульфатов цинка и меди и едкого кали после их магнитной обработки (рис. 28) [90]. Большинство перечисленных опытов проведено с суспензиями, твердая фаза которых практически немагнитна, и поэтому нельзя объяснять слипание частиц их намагничиванием.

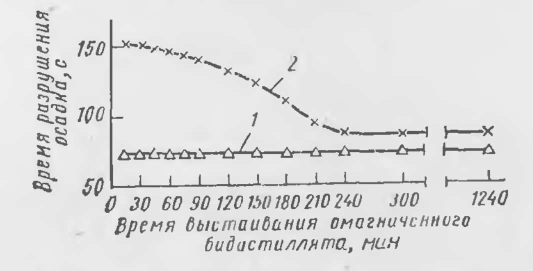


Рис. 27. Влияние времени выстаивания бидистиллята после омагничивания на кинетику разрушения осадка:
1 — без магнитной обработки; *2* — омагниченный бидистиллят



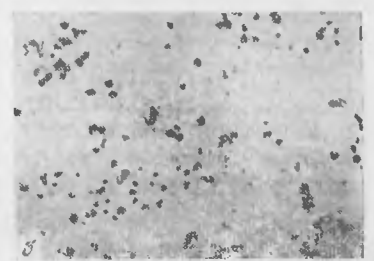


Рис. 28. Коагуляция частиц осадка в системе $ZnSO_4$ — KOH после магнитной обработки (*а*) и (*б*) — без магнитной обработки (×500).

В некоторых случаях лабораторными опытами не удается зафиксировать увеличение скорости оседания суспензий после магнитной обработки (иногда наблюдается даже пептизация суспензии). Обычно тщательным регулированием режима обработки и в этих случаях удается добиться эффекта коагуляции (например, изме-

нением pH среды). Примером того, что не всегда удается добиться результатов в лабораторных условиях, является работа Р. Калверли и А. Рида [91]. Они проводили опыты с коалиновой суспензией. Чтобы получить чистую границу осветленного слоя, они ввели значительное количество электролита (концентрация $BaCl_2$ составляла 450 мг/л!). При такой коагуляции, конечно, невозможно заметить влияние магнитной обработки, мы это проверили экспериментально. Если же снизить концентрацию $BaCl_2$ до 45 мг/л и оценивать оседание не визуально, по перемещению границы осветленного слоя, а при помощи нефелометра, то влияние магнитной обработки на процесс коагуляции обнаруживается. Следует отметить, что подобное влияние подтверждено опытами Д. Оцепска и использовано им на практике [92].

Испарение

Многие изменения физико-химических свойств водных систем после омагничивания должны были отразиться и на кинетике испарения воды. И. Габикар и Ф. Айнхорн изучали воздействие электромагнитного поля, возбуждаемого переменным электрическим полем, на скорость испарения бидистиллята. Воду помещали в электрическое переменное поле на 10 ч. Скорость испарения при нормальном давлении воздуха и постоянной температуре (ее отклонение находилось в пределах ±1%) определяли по изменению объема и массы воды. Статистически обработанные данные свидетельствуют о том, что скорость испарения обработанной воды на 11% выше скорости испарения необработанной [93].

Таблица 7. **Время полной осушки пластинок алебастра, смоченных обычной и омагниченной водой**

Время осушки, мин		Уменьшение времени осушки в случае омагничивания воды, %	Время осушки, мин		Уменьшение времени осушки в случае омагничивания воды, %
вода обычная	вода омагниченная		вода обычная	вода омагниченная	
64,3	43,3	32,6	50,8	37,3	25,6
74,8	64,3	14,0	78,0	69,0	11,5
43,3	37,3	13,9	50,8	43,3	11,5
48,0	43,3	9,7	93,0	78,0	16,1

Д. Ф. Файзуллаев, С. Джурабеков, А. А. Шакирова и С. Абидов смачивали одинаковые алебастровые пластинки обычной и омагниченной водопроводной водой. Пластинки сушили при 150 °С и одновременно определяли их электропроводность. По мере осушки электропроводность пластинок снижалась и достигала постоянной величины при полной осушке (табл. 7) [52]. Эти данные свидетельствуют о влиянии магнитной обработки на увеличение скорости осушки (в рассматриваемом случае может играть большую роль также изменение растворения алебастра в воде и сорбции воды в порах пластинки).

Электрохимические эффекты

Многочисленные изменения в гетерогенных системах, вызываемые магнитными воздействиями, не могут, естественно, не отразиться на электрохимических процессах, протекающих на поверхности раздела фаз. Следует отметить ограниченность и несистематичность проведенных исследований в этой области. В литературе имеются некоторые сведения об изменении электрокинетического потенциала золей гидроокисей железа и алюминия [94]. Первые получали гидролизом кипящего раствора хлористого железа и диализом; вторые — осаждением хлористого алюминия аммиаком и диализом. В работе отмечено, что при оптимальной напряженности магнитного поля в процессе магнитной обработки электрокинетический потенциал уменьшается примерно на 10—15% [92].

Н. Г. Ключников и Е. В. Верижская [95] исследовали влияние магнитной обработки на процесс коррозии Стали 20 в растворах соляной, серной, уксусной и хлорной кислот (все кислоты марки хч). Растворы, приготовляемые на дистиллированной воде, подвергали магнитной обработке. Для этого их пропускали через семь пар электромагнитов с переменной полярностью при средней напряженности поля 8, 24, 40 и 56 кА/м (100, 300, 500 и 700 Э). Все опыты проводили в сосудах из стекла «Пирекс»; скорость потока кислот в магнитных полях составляла 2,5 м/мин (подобрана как оптимальная). В опытах исследованы изменение величины потенциала Стали 20 во времени и зависимость скорости реакций,

протекающих на электродах (из Стали 20), от этого потенциала. Потенциал электрода измеряли потенциометром ЛПУ-01; поляризационные кривые снимали гальваностатическим способом.

Опытами установлено, что омагничивание растворов кислот при определенных напряженностях полей приводит к снижению поляризации катода при плотности тока 1 А/см²; при другой напряженности поляризация, наоборот, возрастает (табл. 8). Соответственно в значительной степени изменяется и поляризация анода. Таким образом магнитная обработка влияет одновременно на оба сопряженных электродных процесса. Изменение коэффициента b свидетельствует о влиянии обработки на энергию активации процесса. Знак изменения для различных кислот различен, зависимость от напряженности поля полиэкстремальна.

Таблица 8. Влияние магнитной обработки растворов кислот на поляризацию электродов Δφ и величину тафелевского коэффициента b

(1 А/м = 0,0126 Э)

Напряженность магнитного поля, кА/м	Соляная, г-экв/л				Серная, г-экв/л			
	0,5		7,0		0,5		7,0	
	Δφ	b	Δφ	b	Δφ	b	Δφ	b
Поляризация катода								
0	0,420	0,140	0,310	0,120	0,318	0,128	0,262	0,108
24	0,345	0,110	0,175	0,065	—	—	—	—
40	0,515	0,160	0,335	0,130	0,248	0,072	0,182	0,078
Поляризация анода								
0	0,175	0,060	0,190	0,085	0,114	0,057	0,164	0,072
24	0,155	0,045	0,120	0,055	—	—	—	—
40	0,250	0,080	0,245	0,100	0,085	0,033	0,102	0,048

Исследовано также влияние магнитной обработки растворов кислот на процесс коррозии меди (марки «электролитная») и никеля (марки НО) гравиметрическим методом со статистической оценкой достоверности результатов.

Во всех случаях магнитная обработка растворов кислот значительно влияла на коррозию металлов; зависимость скорости коррозии от напряженности поля — экстремальная (рис. 29. табл. 9). Аналогичная зависимость наблюдается и для никеля. При напряженности поля 23,9 кА/м (300 Э) скорость коррозии никеля, как и стали, почти удваивается, а при 39,8 кА/м (500 Э) снижается на 30%. Несколько иные результаты получены для меди и алюминия: скорость коррозии этих металлов в соляной кислоте изменяется на 20—60%. При

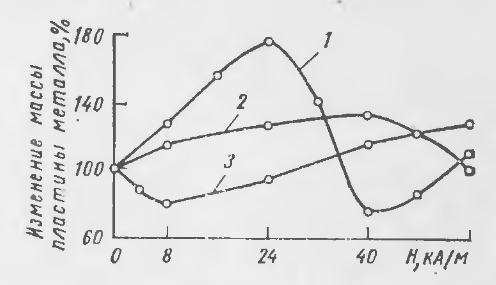


Рис. 29. Изменение скорости коррозии Стали 20 в омагниченных растворах кислот при разной напряженности поля:
1 — соляная кислота; 2 — серная; 3 — уксусная.

Таблица 9. Влияние магнитной обработки раствора соляной кислоты на скорость коррозии Стали 20, г/(м²·ч)

(1 А/м=0,0126 Э)

Напряженность магнитного поля, кА/м	Концентрация кислоты, г-экв/л			
	0,5	1,0	3,5	7,0
0	0,92	1,65	4,09	25,40
8	1,06	2,09	5,37	35,57
16	1,25	2,63	6,97	44,55
20	1,31	2,82	7,64	48,54
24	1,38	2,94	7,87	50,42
28	1,25	2,79	6,93	44,57
32	1,10	2,38	5,00	34,20
36	0,87	1,87	3,97	26,77
40	0,66	1,27	3,33	23,35
44	0,80	1,39	3,51	25,32
48	0,77	1,46	3,84	26,16
56	1,02	1,87	4,87	32,58

омагничивании уксусной кислоты скорость коррозии стали уменьшается в 1,2—2,1 раза.

Итак, при магнитной обработке растворов кислот скорость коррозии возрастает и тем больше, чем выше концентрация раствора. Однако в некоторых работах отмечается возможность снижения скорости коррозии в омагниченных растворах. Очевидно, это связано с условиями, в которых проводилась магнитная обработка.

Природа аниона кислоты влияет больше на знак эффекта, а pH — на его величину. У ферромагнетиков эффект более значителен, чем у диа- и парамагнетиков.

Различное влияние магнитной обработки растворов на скорость коррозии отмечено и другими авторами: Б. П. Татариновым [30], Е. Ф. Тебенихиным и З. Ф. Прониной, М. П. Йовчевым [68] и др. В частности, в последней работе отмечено уменьшение скорости коррозии, которое М. П. Йовчев связывает с образованием защитного слоя на поверхности металла.

Н. И. Елисеев и Ф. И. Нагирняк исследовали методом снятия полярографических кривых на ртутном капельном электроде влияние магнитной обработки 0,01 н. водных растворов KCl и $NaNO_3$ на величину максимума первого рода при восстановлении кислорода до перекиси водорода [96]. Установлена периодическая зависимость силы тока (изменение от 50 до 32 мкА) в максимуме первого рода от напряженности магнитного поля, т. е. сила тока всегда снижается, но на разную величину. С увеличением кратности обработки непрерывно снижается величина максимума первого рода, возникающего в области появления первой волны восстановления кислорода, а также сдвигается максимум к началу координат.

Необычные результаты опубликованы Л. Н. Джапаридзе, В. П. Пруидзе и Р. В. Чагунава. Они отметили изменение знака заряда электрокинетического потенциала капилляров диафрагмы из молибденового стекла после пропускания через нее омагниченной дистиллированной воды. Такая перезарядка диафрагмы наблюдается уже при напряженности поля 637 А/м (8 Э) и сохраняется несколько месяцев. Если через такую диафрагму пропустить обычную дистиллированную воду, то последняя приобретает антинакипные свойства [97]. Эти результаты подлежат дальнейшей проверке.

Природа изменения электрохимических характеристик омагниченной водой пока еще не установлена.

Ионный обмен

Первые результаты по изучению влияния магнитной обработки растворов на ионный обмен опубликованы И. К. Цитовичем [98]. Используя данные о влиянии магнитной обработки на гидратацию ионов, он исследовал ионообменную сорбцию меди, цинка, кальция и железа синтетическим органическим ионитом (Н-катионитом КУ-2) и неорганическим катионитом (хроматографирующей окисью алюминия). Концентрация растворов составляла 10 мг-экв ионов в 1 л. Растворы контактировали с ионитами — до установления ионообменного равновесия. Результаты опытов, приведенные в табл. 10,

Таблица 10. Влияние магнитной обработки на ионообменное равновесие между различными сорбентами и катионами раствора

Варианты обработки	Коэффициент распределения катионов между ионитами и раствором						
	Н-катионит КУ-2				хроматографирующая окись алюминия		
	Cu	Zn	Ca	Fe	Cu	Zn	Ca
Без магнитной обработки	382,76	598,25	547,05	429,66	158,66	97,79	9,70
После магнитной обработки:							
раствора	400,0[illegible]	614,28	562,64	489,66	187,86	101,61	10,66
суспензии сорбента	430,00	614,28	554,76	500,96	199,38	106,61	13,04
раствора и суспензии сорбента	430,00	631,70	554,76	481,39	181,68	106,61	11,82

показывают, что магнитная обработка растворов перед контактированием с ионитами вызывает заметное смещение ионообменного равновесия в сторону повышения адсорбции всех указанных катионов. Магнитная обработка оказывает не одинаковое влияние на обменную сорбцию различных ионов, что может открыть новые

возможности в хроматографическом анализе. Отмечено также некоторое повышение динамической обменной емкости Н-катионита КУ-2 по катиону кальция.

Г. М. Иванова применяла сульфоуголь, аниониты АВ-17 и IRA-410 с ионами Ca^{2+}, Mg^{2+}, Cl^{-}, SO_4^{2-} и во всех случаях обнаружила увеличение емкости поглощения. Максимальный эффект был получен на сульфоугле в Н-форме с катионом кальция; повышение емкости поглощения в этом случае составило 25,8% [12, с. 258—261]. Эти результаты были подтверждены опытами в промышленном масштабе на разных предприятиях.

* *
*

Приведенные экспериментальные данные об изменении свойств гетерогенных систем или параметров процессов, протекающих на границах раздела фаз, при кратковременном воздействии магнитных полей не являются случайными. Они согласуются с результатами, полученными при омагничивании гомогенных водных систем. Все виды изменений гетерогенных систем связаны одно с другим. Однако в некоторых исследованиях получены и отрицательные результаты. О причинах отсутствия полной воспроизводимости результатов при исследовании гетерогенных систем говорится в гл. III. Следует отметить, что почти все эффекты, описанные в данном разделе, нашли промышленное воплощение (см. гл. V).

3. БИОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Четко выявленные изменения физико-химических свойств омагниченной воды, содержащей минимальное количество примесей, и водных растворов с повышенной концентрацией примесей не могут не отразиться на биологических свойствах водных систем. Такое же заключение можно сделать, основываясь на огромном экспериментальном материале. Опубликовано большое число работ (см., например [99—101]), в которых говорится о сильном влиянии слабых магнитных полей (искусственных и естественных) на живые системы. По нашему мнению, в этом случае магнитные поля воздействуют на воду живых объектов, представляющих собой своеобразные водные системы [102]. Накоплено достаточное число экспериментальных данных, позволяющих утверждать, что омагниченная вода обладает особыми биологическими свойствами.

А. Б. Коган, Т. С. Сачава, Л. И. Дорожкина, В. М. Павелко и Н. Н. Гольцева установили, что магнитное поле оказывает *влияние на движение инфузорий* (Paramaecium caudatum) в воде. При этом отмечен существенный факт: при вводе этих инфузорий в омагниченную воду их двигательная активность изменяется [99, с. 56].

В. В. Лисин и Л. Г. Молчанова поили в течение полугода омагниченной водопроводной водой подопытных животных. Отмечены увеличение лейкоцитов, понижение функциональной активности щитовидной железы, *гемодинамические сдвиги и различные дистрофические изменения* (дискомплексация печеночных балок, периваскулярные отеки вокруг центральных вен мальпигиевых тел селезенки и др.). Токсичность умеренная [12, с. 298—301].

Есть четкие сведения о том, что магнитная обработка растворов вызывает *повышение проницаемости биологических мембран.*

К. С. Тринчер экспериментально исследовал влияние магнитной обработки физиологического раствора (воды с примесью неорганической соли) на его диффузию в эритроциты. Режим обработки не был оптимизирован. В омагниченный физиологический раствор добавляли 1% свежей крови и инкубировали при комнатной температуре в течение 15—18 ч. Дальнейшее исследование проводили методом изотонического щелочного гемолиза. Эритроциты постепенно набухали и лопались. Кинетику этого процесса оценивали по изменению оптической плотности раствора. Опыты показали, что в омагниченном растворе эритроциты гораздо быстрее (на 21—25%) набухают и лопаются. Если омагниченный физиологический раствор (до добавления в него крови) нагреть до кипения и охладить, то последствия влияния омагничивания пропадают (рис. 30). Это свидетельствует о влиянии магнитной обработки на структуру раствора и на уменьшение гидратации ионов, что облегчает проникновение последних через оболочку эритроцитов.

Следует отметить, что результаты, полученные К. С. Тричером, характеризуются некоторым разбросом [103].

М. М. Десницкая и А. П. Мамонтов исследовали влияние магнитной обработки дистиллированной и водопроводной воды на проницаемость клеточных мембран кожи лягушки. Для этого в кожный мешочек вводили

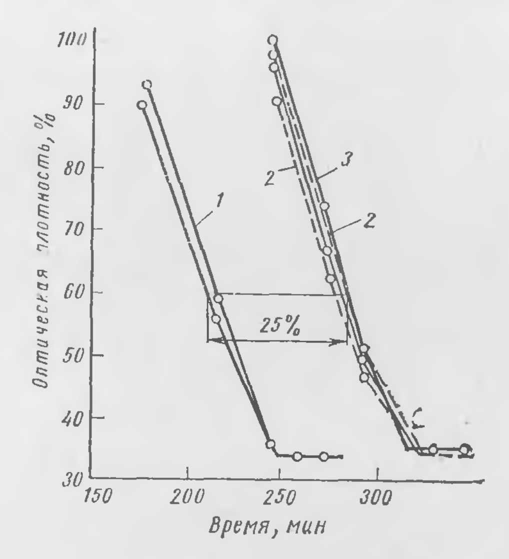


Рис. 30. Влияние магнитной обработки физиологического раствора на набухание и разрушение добавленных к нему эритроцитов:
1 — омагниченный раствор; *2* — омагниченный раствор, подвергнутый кипячению и охлаждению; *3* — обычный раствор.

окрашивающее вещество. Об изменении проницаемости судили по скорости выхода этого вещества из мешочка в окружающую воду. Статистически достоверно найдено, что если в мешочке находится омагниченная водопроводная вода, то окрашивающее вещество выходит в окружающую воду с большей скоростью, чем в контрольных опытах [104, с. 115—117].

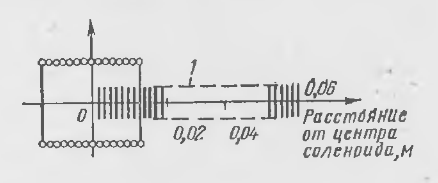
Эти же авторы определяли изменение биологических свойств воды после омагничивания и другими методами. Например, вводили под кожу животных омагниченную воду. В этом случае поведение их резко изменялось (по сравнению с поведением при вводе неомагниченной воды): возникало двигательное беспокойство, сменяющееся вялостью, сонливостью. Причем при введении омагниченной водопроводной воды эффект воздействия был более сильным по сравнению с эффектом, наблюдаемым при использовании омагниченной дистиллированной воды. При введении омагниченной дистиллированной воды под кожу мышей сопротивляемость последних неблагоприятным факторам повышалась. Время плавания этих мышей в воде составляло 194±25 мин, а время плавания мышей, которым вводили столько же неомагниченной дистиллированной воды, составляло 116±±17 мин. Омагниченная водопроводная вода, наоборот, сокращала время плавания мышей [102, с. 115—117].

Влияние омагничивания воды на *активность ферментов* было изучено И. В. Тюньковым. Он помещал воду на 15 мин в постоянное магнитное поле, затем вводил в нее различные ферменты. Даже такая несовершенная обработка воды показала достоверное снижение активности уреазы, фосфоглюкомутазы и АТ-фазы актомиозина в свежедистиллированной омагниченной воде в сравнении со свежедистиллированной неомагниченной водой [105].

К. А. Мещерская и Г. П. Бородина включали в рацион крыс омагниченную дистиллированную воду. Это привело к снижению *содержания холестерина* в печени крыс: через 20 дней оно снизилось в $1^1/_2$ раза (по сравнению с контрольными опытами), а через 90 дней — более чем в $2^1/_2$ раза; через 90 дней снизилось также и содержание холестерина в крови [106].

В. А. Ахутин, Н. И. Музалевская и В. И. Классен исследовали зависимость *изменения РОЭ крови* от характеристик магнитного поля, ранее отмеченную в работе [101, с. 57—58]. Эти изменения особенно заметны в достаточно реактивной крови (например, в крови больных с сердечно-сосудистой патологией). У разных людей формула крови, белковый состав плазмы, параметры форменных элементов неповторимы. Общим компонентом является вода, поэтому со значительной долей вероятности общие закономерности, полученные на различных образцах, могут быть объяснены изменением свойств воды. В отличие от ранее проведенных исследований биологического воздействия омагниченной воды на кровь, в описываемой работе большое внимание уде-

ляли режиму обработки. По оси соленоида на расстоя нии 2 см друг от друга располагали стандартные капил ляры с кровью. Было установлено изменение напряжен ности поля и его градиента по оси соленоида Максимальная напряженность поля в центре соленоид составляла всего 24 А/м (0,3 Э), частота тока 0,5 Гц



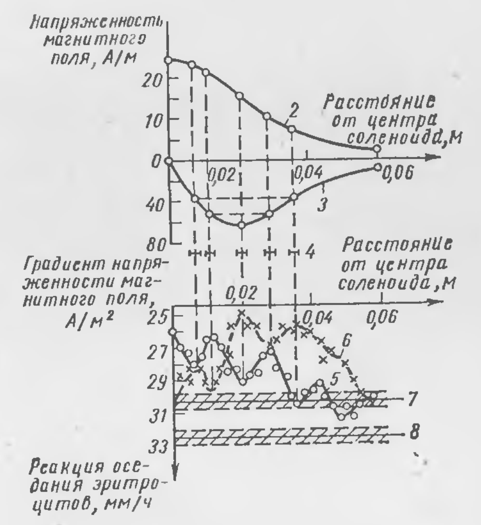


Рис. 31. Влияние магнитного поля на РОЭ крови:

1 — соленоид и капилляры с кровью; 2 — напряженность магнитного поля 3 — градиент напряженности поля; 4 — доверительные интервалы; 5, 6 — РО крови после магнитной обработки; 7, 8 — то же, без магнитной обработк Заштрихованные зоны — разброс определений.

Антикоагулянтом служил 5%-ный раствор лимоннокис лого натрия. РОЭ определяли по седиментограмме. По грешность опыта не превышала 5%. Как видно н рис. 31, необработанные образцы крови отличаются оди от другого, но разброс данных для них небольшо

(области 7, 8). Результаты многих опытов показали, что после магнитной обработки крови РОЭ значительно изменяется. Эти изменения по оси соленоида имеют полиэкстремальный характер, максимумы и минимумы отдельных образцов крови не совпадают. При этом не обнаруживается простой зависимости от напряженности поля и его градиента (что характерно для случая, когда основную роль играют пондеромоторные силы). Однако все кривые имеют один общий признак: положение экстремумов остается постоянным (доверительные интервалы не превышают половины «шага») и не зависят от характера кривой. Экстремальные точки примерно соответствуют определенным значениям градиента напряженности поля [107].

Ряд достоверных данных получен при исследовании влияния питья омагниченной воды на *артериальное давление, диурез и растворение почечных камней* (обычно эти результаты проявлялись одновременно).

Первые сведения о влиянии омагниченной воды на растворимость камней мочевого пузыря опубликовали Н. А. Глебов, И. И. Брехман и И. В. Дардымов [108, с. 390]. И. И. Моргунов [109] и, затем, Ф. Немец (F. Němec) [110] также отметили положительные результаты употребления омагниченной воды при лечении мочекаменной болезни. Больным через различное время давали пить воду, подвергнутую весьма примитивной магнитной обработке. Тем не менее, у большинства больных наблюдались не только субъективные улучшения, но и нормализация состава крови и мочи.

Более детальные исследования проведены Э. М. Шимкусом, Ж. П. Аксеновым, Н. И. Каленковичем и В. Я. Живым [111]. В этой работе также ничего не говорится о режиме магнитной обработки воды и его оптимизации, описаны лишь результаты исследований. Вначале неомагниченную воду давали пить два раза в день здоровым людям (по 0,5 л), при этом осуществляли разносторонний контроль функции почек и артериального давления. Никаких ощутимых изменений в этом случае не отмечено. Затем этим же людям давали в таком же количестве омагниченную воду. При этом было зафиксировано снижение артериального давления (систолического на 0,7—4 кПа или 5—30 мм рт. ст. и диастолического на 0,7—3 кПа или 5—20 мм рт. ст.), увеличе-

ние функции почек и диуреза (на 35—60%), а также снижение на 0,5—2% канальцевой реабсорбции воды. При лечении омагниченной водой 30 больных с одиночными камнями в почках (0,6×1,7 см) у 19 больных камни отошли, у семи больных сместились на 3—20 см.

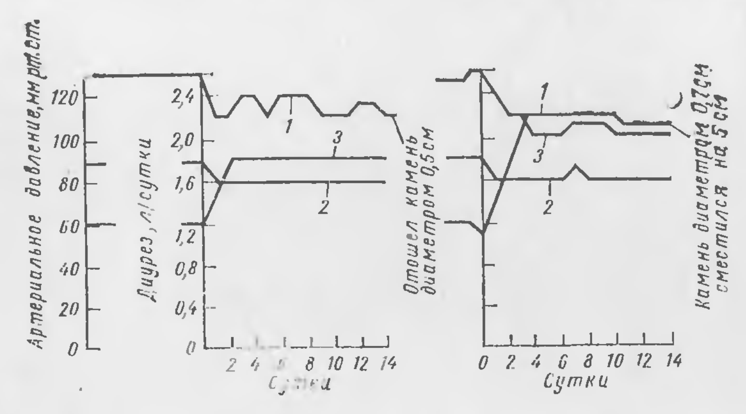


Рис. 32. Влияние омагниченной воды на артериальное давление и диурез:

1 — систолическое давление; *2* — диастолическое давление; *3* — диурез

Обычно камни отходили на протяжении первых двух недель (рис. 32). Аналогичные результаты опубликованы В. А. Пилипенко [112].

В исследованиях урологов получены разноречивые сведения о растворении камней почек в организме (in vivo). Это побудило исследовать растворимость мочевого камня человека в омагниченной воде in vitro (вне организма). В. И. Классен, А. Н. Гребнев, Н. И. Каленкевич и В. И. Варикоша обрабатывал дистиллированную воду (удельная электропроводность 300 мкСм·м$^{-1}$) при напряженностях поля, ранее установленных как усиливающих растворимость алкилсульфата натрия (28 кА/м или 350 Э) так и уменьшающих ее (52 кА/м или 650 Э). Оказалось, что в первом случае происходит существенное (на 34—43%) ускорение растворения оксалатов и фосфатов кальция, во втором — столь же значимое замедление. Обработка водопроводной воды, содержащей значительное количество ионов кальция, не отразилась на растворимости почечных

камней [19, с. 154—158]. Следовательно, для растворения почечных камней нужно употреблять омагниченную воду, ненасыщенную кальцием; причем обработка должна проводиться в строго подобранном режиме.

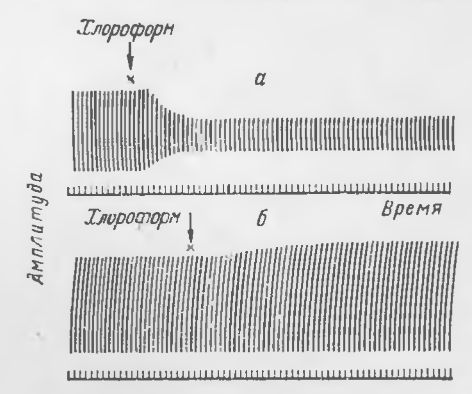


Рис. 33. Влияние омагничивания водного раствора хлороформа концентрацией 1 : 500000 на пульсации сердца:

а — неомагниченный раствор; *б* — омагниченный.

Обширный материал накоплен в области исследований, относящихся к изучению влияния магнитной обработки на *биологические и фармакологические свойства* водных растворов органических и неорганических веществ.

М. М. Десницкая и Л. Н. Чеснокова установили, что при магнитной обработке раствора Рингера (в 1 л воды 6,5 г NaCl и по 0,2 г $CaCl_2$, KCl и $NaHSO_4$) влияние этих препаратов на работу изолированного сердца изменяется. Обработку вели в скрещенных магнитном (509,4 кА/м или 6400 Э) и электрическом полях. Плотность тока в растворе не превышала 2—3 мА/см². Скорость протекания растворов в зазоре составляла 0,4 м/с. Обычный раствор Рингера не влияет на работу сердца, а растворы хлороформа и строфантина ее подавляют. Омагниченные же эти растворы действовали совершенно иначе: они активировали работу сердца (рис. 33) [14, с. 305—308]. Изменение свойств раствора Рингера, вызванное омагничиванием, является временным и исчезает через несколько часов.

М. М. Десницкая и А. Н. Мамонтов установили значительное изменение влияния омагниченных нейротропных лекарственных препаратов (стрихнина, кофеина и др.) на центральную нервную систему. При этом отмечено два важных обстоятельства: летом эффект был меньше, чем зимой, и действие растворов коррелирует с изменением проницаемости тканевых мембран (кожи лапок лягушки) [113, с. 106—109].

А. Н. Мамонтов отметил более сильное влияние омагниченных водных растворов сердечных гликозидов (разведение $1{,}7 \cdot 10^{-7}$) на деятельность сердца [113, с. 109—111]. Р. Г. Дианова, А. Н. Мамонтов и В. В. Смирнова установили значительное влияние омагничивания водных растворов строфантина, дигитоксина и папаверина на сужение и расширение сосудов [113, с. 112—114]. Наконец, М. М. Десницкая, Г. А. Базанов и А. Н. Мамонтов установили, что омагничивание водных растворов гликозидов значительно влияет на содержание гликогена в миокарде, печени и мышце бедра кроликов. Обработку растворов вели полем напряженностью 338 кА/м (4250 Э). Скорость раствора составляла 0,2 м/с. Полученные результаты свидетельствуют о том, что при использовании омагниченного строфантина содержание гликогена в печени возрастает с 1970 до 4070 мг%, а в поперечно-полосатых мышцах — с 560 до 830 мг%. При омагничивании раствора сердечного гликозина количество гликогена в печени возрастает в 1,5 раза [104, с. 100—102].

Значительный интерес представляют сведения М. М. Десницкой и А. В. Каргаполова о влиянии омагничивания водных растворов лекарственных препаратов и биологически активных веществ на их хроматографическую подвижность, оцениваемую методом тонкослойной хроматографии на силикагеле. Ими обнаружено изменение хроматографической подвижности всех десяти исследованных препаратов (барбамила, стрихнина и др.). Результаты опытов свидетельствуют об изменении полярности исследованных веществ. Этот эффект сохраняется 4—5 ч. При этом изменяется и химическая активность препаратов: ускоряется проявление омагниченных препаратов в парах с йодом. Этот эффект сохраняется в течение 2—3 суток [114, с. 20—21].

Л. В. Комаров установил, что омагничивание водных растворов сахарозы привело к значительному увеличению продолжительности жизни комнатных мух, причем это заметно при относительно невысоких напряженностях магнитного поля (30—52 кА/м или 380—650 Э) и не наблюдается при более высоких напряженностях поля (порядка 79,6 кА/м или 1000 Э) [114, с. 100]. Н. М. Зайцева, В. М. Соболева и П. Е. Гальченко также отметили значительное изменение лечебных свойств омагниченного раствора адреналина [114, с. 107].

М. М. Десницкая отмечает влияние омагничивания различных препаратов на лечение аллергии. Иммунологические реакции при сенсибилизации кроликов омагниченной сывороткой протекают более интенсивно, чем в контрольных опытах. Омагниченный гистамин стимулировал антителообразование, обмен белка; реакции на разрешающие дозы антигена протекали лучше, чем в контрольных опытах.

В некоторых работах отмечены *бактерицидные свойства омагниченной воды*. Так А. И. Шахов и С. С. Душкин установили, что микробное число и коли-индекс воды Северного Донца и Харьковского водопровода, подвергнутой магнитной обработке, уменьшаются на 81—97% [115]. При этом существенное значение имеют параметры обработки — напряженность поля и скорость потока. Однако Г. С. Агафоновой, В. И. Классеном и Ю. А. Мартьяновым показано, что магнитная обработка приводит к значительному (в 1,5—1,7 раза) ускорению роста бактерий «Th. ferrooxidans» [116], а Д. Ф. Файзуллаев, С. Джурабеков, А. А. Шакиров, С. Абидов и Х. Бердыкулов отметили увеличение на 15—30% скорости роста хлореллы [12, с. 309—310].

Имеется большое число данных, свидетельствующих о влиянии *магнитной обработки поливной воды* и семян на их рост*. Результаты многочисленных исследований в полевых условиях показали, что при замачивании семян сахарной свеклы в воде, подвергнутой магнитной обработке при напряженности 796 А/м (10 Э), урожайность этой культуры повышается на 8% [12, с. 310].

Влияние омагничивания поливной воды на рост растений впервые отмечено И. В. Дардымовым, И. И. Брехманом и А. В. Крыловым [108, с. 390]. Ис-

* Этот вопрос подробно рассмотрен в главе V.

пользование для полива омагниченной дистиллированной воды позволило ускорить рост растений на 20—40%. Эти данные были подтверждены В. В. Лисиным и Л. Г. Молчановой [12, с. 298]. Опыты, проведенные Н. П. Яковлевым, показали, что при поливе омагниченной водой урожай многих зерновых и огородных культур повышается на 10—40% [118]. Это можно объяснить тем, что при применении омагниченной воды лучше усваиваются питательные вещества из почвы (в том числе искусственные удобрения).

* *
*

Результаты различных экспериментов, приведенные выше, свидетельствуют о том, что омагниченные водные растворы приобретают новые биологические свойства. Причем такие результаты обнаруживаются даже при магнитной обработке, проведенной при случайных, недостаточно подобранных режимах. Установлена аналогия изменения биологических и физико-химических свойств гомогенных и гетерогенных водных систем, подвергнутых магнитной обработке. Обнаруженные эффекты наиболее заметны при воздействии слабых (оптимальных) полей. С увеличением напряженности поля усиление эффекта не происходит, при этом зависимость изменения свойств от напряженности поля носит экстремальный или полиэкстремальный характер. С течением времени изменения, внесенные магнитным полем, пропадают.

Такая корреляция между изменениями физико-химических и биологических свойств водных систем повышает надежность экспериментальных данных и в дальнейшем может сыграть важную роль при установлении механизма происходящих явлений.

ГЛАВА III

СОСТОЯНИЕ ТЕОРИИ ОМАГНИЧИВАНИЯ ВОДНЫХ СИСТЕМ

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Известно множество процессов, теоретическое обоснование которых было сделано только через несколько десятилетий после того, как они нашли широкое и успешное практическое применение. Накопленных простых эмпирических зависимостей оказывается достаточно для устойчивого получения желаемых результатов. Во многих же случаях отсутствие теории сдерживает практическое применение полученных результатов. К такого рода проблемам относится и проблема изменения свойств водных систем после кратковременного воздействия на них относительно слабых электромагнитных полей. Мы многократно отмечали, что часто в лабораторных условиях достигаемые эффекты отличаются неустойчивостью, остаются неизвестными приемы стабилизации и оптимизации процесса, методы расчета аппаратов для магнитной обработки водных систем.

Трудности теоретической трактовки магнитной обработки водных систем очень велики, поскольку приходится сталкиваться со многими нерешенными проблемами, относящимися к общей теории жидкого состояния. Вместе с тем накопленных экспериментальных данных пока еще недостаточно для построения строгой теории. Это обусловлено тем, что проблема магнитной обработки стала привлекать позитивное внимание представителей фундаментальных наук совсем недавно.

Таким образом, *теория электромагнитной обработки водных систем находится на стадии выдвижения и обоснования гипотез.* Эта стадия, наверное, является самой трудной и ответственной. Очень много времени было потеряно на убеждение представителей фундаментальных наук в том, что «здесь что-то есть». Тривиальные

расчеты, показывающие ничтожное влияние слабых магнитных полей на воду, поставили под сомнение все рассматриваемое научно-техническое направление. От практических эффектов, даже подтвержденных многолетним промышленным опытом, просто отмахивались. Между тем, можно привести много примеров, когда «абсурдные» результаты после серьезного позитивного изучения неожиданно получали строгое научное обоснование. Приведем лишь один такой пример, имеющий отношение к магнитной обработке водных систем.

Долгое время считалось, что магнитные поля не могут влиять на химические реакции в растворах, идущие через радикальный механизм. Опыты, свидетельствующие об этом, считались недостоверными. Тем более, что результаты их не были стабильными. Это объясняется тем, что, не зная механизма процесса, экспериментаторы не могли учесть и стабилизировать все факторы, влияющие на реакцию. Подвергались сомнению такие важные, новые научные направления, как магнитобиология, магнитотерапия. Но открытие в 1967 г. явления химической поляризации ядер атомов стимулировало интерес ученых к механизму воздействия магнитных полей на некоторые жидкофазные реакции. Установлено, что при определенных радикальных реакциях магнитное поле влияет на переориентацию магнитных моментов в радикальных парах (электронные спины) и, через этот промежуточный механизм, на химические реакции. Изменяются кинетика процесса и соотношение продуктов, получаемых в результате реакции. Этот эффект может иметь большое практическое значение, например, в магнитобиологии, в реакциях радикальной полимеризации при получении пластмасс и др.

Конечно, одних аналогий недостаточно. Механизм явлений, происходящих при магнитной обработке водных систем, может быть выяснен только совместными усилиями физиков и химиков. Пока работа в этом направлении лишь начинается.

Симптоматично, что пока магнитная обработка водных систем сводилась лишь к борьбе с накипеобразованием, а практики не подчеркивали изменение при этом физико-химических свойств водных систем, этот процесс не привлекал внимания представителей фундаментальных наук. Но стоило в СССР практикам «замахнуться на большее», как незамедлительно последовала ответная реакция, вначале — четко негативная.

Общим фоном отрицательного отношения являлось отсутствие учета всей совокупности сведений и всех условий, в которых осуществляется магнитная обработка водных систем.

Все соображения негативного характера делаются с принятием следующих допущений: а) вода не содержит примесей и находится в состоянии термодинамического равновесия с окружающей средой; б) воде не свойственна заметная структурная релаксация и в) вода в магнитном поле находится в неподвижном состоянии.

Нетрудно заметить, что в реальных условиях магнитной обработки водных систем все эти допущения оказываются неверными. Вода всегда содержит примеси различных веществ, в том числе — газов. Она является открытой системой, обменивающейся со средой не только энергией, но и веществом, и не может рассматриваться как равновесная. Ей свойственна замедленная структурная релаксация.

Обязательное условие перемещения водной системы и магнитного потока относительно друг друга привлекает большое внимание к возникающим при этом индуцированным электрическим токам. Из уравнений Максвелла вытекает, что магнитное поле возникает как при перемещении электрических зарядов, так и при изменении электрического поля во времени. Любое изменение во времени магнитного поля вызывает возникновение электрического поля. И при подсчете затраты энергии на магнитную обработку нельзя не учитывать энергию движения. Таким образом, *отсутствие учета движения водной системы в магнитном потоке принципиально искажает исходные условия теоретического анализа магнитной (точнее — электромагнитной) обработки водных систем.*

Определенные сомнения в возможности значимого изменения свойств водных систем после электромагнитных воздействий возникают в результате расчета работы, производимой при этом магнитным полем. Работа магнитного поля над единицей объема чистой воды $A_м$ определяется уравнением:

$$A_м = \mu_0 \chi H^2$$

где μ_0 — абсолютная магнитная проницаемость вакуума;
χ — магнитная восприимчивость воды;
H — напряженность магнитного поля.

Расчет, проведенный по этой формуле, показывае что магнитное поле напряженностью 80 кА/м (1000 Э может произвести над одним молем воды работу, изме ряемую величиной 0,105 мкДж, что соответствует нич тожному изменению температуры (на 10^{-8} °C). К том же часто эта работа сопоставляется с энергией водоро ной связи ($\approx$25 кДж/моль), которую по априорны утверждениям при магнитной обработке необходим разорвать. И оказывается, что получаемая энергия н 10 порядков меньше требуемой. Все эти расчеты, ка мы отметили выше, имеют общим недостатком то, чт ими не учитываются реальные условия — присутстви в воде примесей, перемещение воды и поля — и то, чт их отправной точкой является необходимость разры всех водородных связей.

Между тем, как отмечает В. И. Миненко [12, с. 17-18], воздействие магнитного поля на жидкость мож вызывать меньшие изменения, чем действие электри ческих сил. Так, силы Лоренца, возникающие при тече нии воды и действующие перпендикулярно направлени потока, за время пребывания воды в поле (0,1 с) пр градиенте электрического поля порядка десятков милли вольт на 1 см способны произвести над одним грам ионом работу, измеряемую несколькими сотнями джо лей. Возможно энергия перекачивания жидкости являет некоторым добавочным источником изменения из барно-изотермического потенциала системы при ее ма нитной обработке. Следует также рассмотреть и учест возможное взаимодействие с магнитным полем раств ренного в воде парамагнитного кислорода.

Все же при электромагнитной обработке водной си стеме действительно сообщается очень мало энерги Поэтому ее энергетическое состояние до и после магни ной обработки должно быть примерно одинаковы Между тем, лабораторные опыты и промышленная пра тика свидетельствуют о том, что свойства водных систе после магнитной обработки существенно изменяются.

Учитывая эти противоречивые обстоятельства, ост ется предположить, что влияние электромагнитного по связано с такими превращениями системы, при которы

ее энергия изменяется незначительно. Но начальное и конечное состояние системы разделены энергетическим барьером, для преодоления которого необходимо системе сообщить некоторую энергию, равную энергии активации. Известно, что энергию активации можно существенно изменить ничтожным воздействием на систему (примером является катализ). Следовательно, необходимо теоретически установить принципиальную возможность того, что ничтожным временным воздействием на водную систему электромагнитного поля можно значительно изменить энергию активации процессов, протекающих в этой системе. Кроме того, теория должна объяснить, каким образом слабые изменения системы, вызываемые магнитной обработкой, можно усилить и стабилизировать.

Итак, теория магнитной обработки водных систем, которую еще предстоит разработать, должна учитывать и объяснять следующие факты:

1) изменение свойств как гомогенных, так и гетерогенных водных систем после обработки и «память» об этих изменениях в течение некоторого времени (см. гл. II);

2) влияние на результаты магнитной обработки водных систем вида и концентрации примесей, присутствующих в воде в ионной, молекулярной и коллоидно-дисперсной формах; причем не обязательно, чтобы эти примеси были ферро- или парамагнитными (опыты с абсолютно чистой водой не проводили);

3) экстремальную или полиэкстремальную зависимость эффектов от средней напряженности магнитного поля, а также его частоты;

4) сложное влияние неоднородности магнитного поля на изменение свойств неоднородных систем;

5) экстремальную зависимость эффектов от скорости потока раствора или суспензии в поле;

6) временный характер эффектов в случае отсутствия необратимых изменений (например, фазовых переходов).

Перечисленные экспериментальные зависимости установлены многими авторами и имеют одинаковый характер, поэтому нельзя считать, что все они ошибочны.

Теория должна также хотя бы в качественной форме объяснить влияние электромагнитной обработки водных

систем на процессы растворения, кристаллизации, адсорбции и др. (см. гл. II).

При построении теории следует учитывать последние данные в области структуры воды и растворов. Особенно важным является изменение структуры растворов при малых затратах энергии и их структурная релаксация (см. гл. I).

Сейчас уже известно много различных гипотез, которые можно разбить на три основные группы: а) рассмотрение влияния полей на собственно воду, без учета всех видов примесей и даже ионов — продуктов диссоциации воды; б) основная роль отводится ионам, всегда присутствующим в воде; и в) основная роль отводится влиянию магнитных полей на ферро- и парамагнитные коллоидные микрочастицы, в большинстве случаев присутствующие в воде. Следует отметить, что между этими группами гипотез нет четких границ; их нельзя отделять одну от другой.

2. ВОЗМОЖНЫЕ МЕХАНИЗМЫ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА ВОДНЫЕ СИСТЕМЫ

Исходя из самых общих соображений, механизм воздействия электромагнитных полей на водные системы можно связать с явлениями резонансного типа [119]. Молекулы воды, их ассоциаты, как и гидратированные ионы, совершают беспрерывные колебательные движения, которым соответствует определенный энергетический уровень. При воздействии на эту систему поля оптимальной частоты возможен резонанс с определенной группой молекул и ассоциатов с возникновением квантов энергии, способных деформировать связи, изменить структурную характеристику системы (в объеме, в сольватных оболочках).

Периодическое изменение свойств воды с ростом напряженности поля можно объяснить закономерностью Лармора, согласно которой прецессия электронов в магнитном поле линейно связана с его напряженностью. По мере изменения напряженности магнитного поля и следовательно его частоты могут периодически возникать резонансные системы. В физике твердого тела установлено, что магнитные свойства твердых тел находятся в немонотонной осциллирующей зависимости от внешнего магнитного поля. Например, установлено периодическое изменение гальваномагнитных свойств металлов с ростом напряженности магнитного поля. Это объясняется перестройкой электронного спектра твердого тела и следовательно изменением характера межмолекулярных взаимодействий, вызванных магнитным полем.

Такие процессы вызываются как магнитными, так и электрическими полями (эффект Зеемана — Штарка для атомов и молекул). Поэтому изменение свойств водных систем может происходить при воздействии как магнитного, так и электрического поля, а также при их совместном воздействии или наведении переменного электромагнитного поля.

А. А. Галаницкий в своей работе [19, с. 22—28] развил эти рассуждения. Он, рассматривая разные резонансно-активные формы движения молекул, отметил роль ионов с различным знаком гидратации в этом процессе. Однако таких общих соображений совершенно недостаточно для практических целей. Ниже приведены различные гипотезы, высказанные отдельными авторами и подлежащие критическому рассмотрению.

Изменение свойств чистой воды

Н. И. Лычагин обосновывает возможность изменения магнитным полем валентного угла молекулы воды — его уменьшение более чем на 2° [19, с. 41—45]. Это приводит к увеличению дипольного момента молекулы и изменению взаимодействия между молекулами с укрупнением их агрегатов.

Н. Непримеров, У. Ахмеров и А. Бильдюкевич высказали предположение, что после магнитной обработки изменяются ориентации ядерных спинов водорода в молекуле воды. Работами Бенифера и Гартека (Bonifer, Gartek), проведенными еще в 30-е годы, показано, что атомы водорода в газообразном состоянии соединены попарно при параллельной или антипараллельной ориентации спинов ядер (орто- и параводороды). Мекке (Mecce) спектроскопическими исследованиями установил, что в водяном паре содержится 75% ортомолекул и 25% парамолекул. Это соотношение не остается постоянным и зависит от многих причин — температуры, пара-

метров магнитного поля, действия катализаторов. Энергия, необходимая для орто- и пара переходов невелика и эти переходы могут осуществляться в магнитном поле без нарушения водородных связей. Соотношение орто- и парасостояния изменяется медленно. Например, в талой воде на это требуются сутки. Однако пока остается неясным механизм действия орто- и парасостояний на свойства воды.

А. Н. Киргинцев приходит к выводу, что магнитные поля, наоборот, «измельчают» некие неопределенные агрегаты молекул воды, ускоряя этим образование зародышей [120]. Такое «измельчение» агрегатов не требует больших затрат энергии, а их укрупнение происходит медленно.

То, что при воздействии электромагнитных полей свойства воды могут изменяться на значительное время, экспериментально доказано С. Т. Усатенко и В. Н. Морозовым. Они пропускали дистиллированную воду через однородное постоянное магнитное поле и одновременно воздействовали на нее высокочастотным переменным электромагнитным полем, вектор которого был перпендикулярен вектору постоянного магнитного поля. При совпадении частоты переменного поля с частотой прецессии ядер в данном магнитном поле происходит избирательное поглощение электромагнитной энергии колебательного контура ядрами вещества, сопровождаемое их переходом на более высокий энергетический уровень.

Опыты показали, что даже очень слабые высокочастотные поля, при совпадении их частоты с частотой прецессии ядер (определяемой с помощью осциллографа), на несколько часов изменяют диамагнитную восприимчивость воды и способствуют выпадению из нее кристаллов солей жесткости.

В общих случаях авторы «водяных» гипотез пренебрегают не только наличием в воде примесей газов, но и ионов, всегда возникающими при диссоциации воды — гидроксония и гидроксила. Поскольку опыты с абсолютно чистой водой, как указывалось выше, не проводились (а вода без продуктов ее диссоциации и растворенных газов вообще не существует), эти гипотезы не имеют экспериментального подтверждения.

Изменение структуры водных растворов

Влияние электромагнитных полей на водные системы через ионы, всегда в них содержащиеся, рассмотрено рядом авторов.

Л. Г. Сапогин с соавторами [19, с. 18—22] выдвинули следующую гипотезу.

На первой стадии исследования основная роль отводится ионам гидроксония и гидроксила — продуктам диссоциации воды. Траектория движения каждого из этих ионов в потоке воды, проходящем через магнитное поле, представляет собой циклоиду. Двигаясь из одной точки и вращаясь в одной плоскости, но в разные стороны, эти ионы ориентируют ближайшие молекулы воды (поскольку последние обладают большим дипольным моментом). Происходит объединение молекул воды, «нанизанных» на «гидроксильную» и «гидроксониевую» циклоидные арки, в плоские кольцевые ассоциаты (что обусловлено водородными связями). Иными словами, происходит разделение гидроксильных и гидроксониевых ионов на вращающиеся навстречу друг другу образования, которые, выйдя из поля, перестают вращаться и могут образовывать нейтральные кольцевые ассоциаты. Энергия водородных связей, объединяющих ионы в кольца, очень мала. Но в соответствии с положениями квантовой химии кольца могут быть устойчивыми. Аналогичная ситуация наблюдается в кольце бензола, которое гораздо устойчивее, чем это вытекает из тривиального учета ненасыщенных двойных связей [121]. Ассоциат находится в состояниях *1* и *2* (рис. 34). Амплитуды вероятностей этих состояний составляют $(\sqrt{2})^{-1}$, а энергия одинакова. Поэтому кольцевой ассоциат и является системой с двумя состояниями. Его

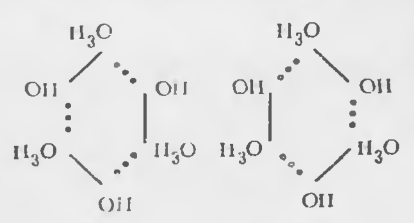


Рис. 34. Схемы кольцевых ассоциатов ионов, получаемых вследствие электролитической диссоциации воды.

прочность равна, примерно, половине прочности самой прочной связи, т. е. 248 кДж/моль. Это значительно превышает энергию теплового движения, поэтому сформировавшийся ассоциат уже не может разрушиться. Аналогичные O···H связи, для которых неприменимы обычные критерии водородных связей, теоретически предсказывались Э. Липшикотом с сотрудниками [122].

В кольцевых ассоциатах атомы водорода могут располагаться «над» или «под» плоскостью кольца. Возможен перескок атомов водорода из одного положения в другое, сопровождаемый изменением направления электрического дипольного момента. Это приводит к резонансному поглощению переменного электрического поля с частотой, равной разности энергий близлежащих уровней, возникших в результате расщепления начальных уровней. Интенсивность поглощения пропорциональна числу образовавшихся кольцевых ассоциатов. Резонансная частота лежит в широковолновом диапазоне. На этом принципе возможно создание прибора для контроля эффективности магнитной обработки.

В этой гипотезе, как нам представляется, основным является не столько расчет траекторий движения ионов, сколько обоснование возможности объединения вновь возникших ионов воды в устойчивые ассоциаты. Этот процесс носит статистический, вероятностный характер.

Очевидно, образованию кольцевых ассоциатов способствуют и катионы, и анионы примесей. Однако в этом случае одновременно могут идти различные процессы. Сложность ионных систем, свойственных той или иной реальной воде, обусловливает неоднозначность результатов их магнитной обработки.

Описанный механизм, конечно, не является единственно возможным. Упоминаются и другие механизмы, приводящие к специфическому структурированию воды, содержащей ионы после ее магнитной обработки. Например Л. Д. Кисловский и В. В. Пучков выдвигают гипотезу об образовании больших молекулярных ассоциатов вокруг ионов кальция (наиболее характерной примесью в технической и природной воде) [12, с. 25—31].

Л. Д. Кисловский основывается при этом на представлениях Л. Полинга (Z. Pauling) о наличии в воде

клатратных структур, играющих основную роль в образовании газовых гидратов. Такие структуры могут существовать в воде тем дольше и быть развиты тем больше, чем в большей степени соответствуют размерам полостей находящиеся в них ионы или молекулы. Рассмотрев ряд возможных «заполнителей», Л. Д. Кисловский

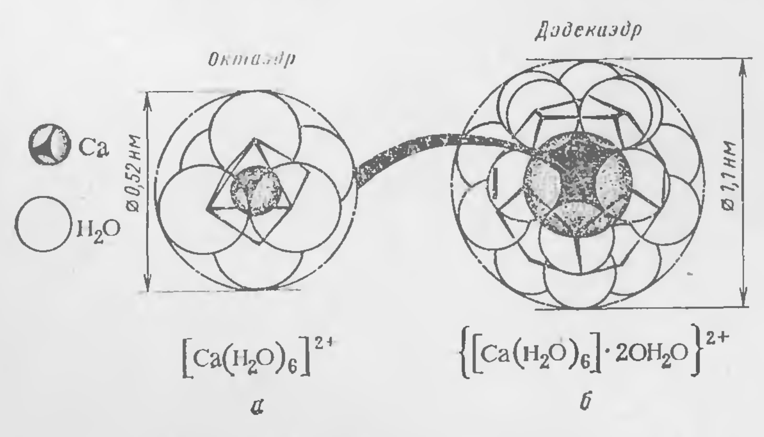


Рис. 35. Стабилизация гексааквакомплекса кальция $[Ca(H_2O)_6]^{2+}$ в полости додекаэдрической структуры воды:
а — гексааквакомплекс кальция; *б* — додекаэдрическая структура из молекул воды.

остановился на ионе кальция. При взаимодействии ионов кальция с молекулами воды наиболее выгодно образование гексааквакомплекса $[Ca(H_2O)_6]^{2+}$, сопровождаемое выделением энергии 630 кДж/моль.

Диаметр гексааквакомплекса кальция (рис. 35), равный 0,516 нм, хорошо соответствует диаметру одной из полостей клатратной структуры (0,52 нм). Это приводит к образованию больших метастабильных ионов (рис. 35, *б*), которые могут значительно изменять структуру и свойства воды. Заметим, что кроме ионов кальция могут быть и другие примесные заполнители клатратных пустот (например, молекулы хлора).

Для возникновения подобных аквакомплексов необходимо преодолеть определенный активационный барьер, что и помогает осуществить кратковременное воздействие электромагнитного поля.

Следует заметить, что хотя гексааквакомплексы метастабильны, время их существования может исчисляться многими часами.

Отмеченные изменения при магнитной обработке структурных характеристик воды (возрастание в ней числа и размеров сплоченных ассоциатов-блоков, разделенных неупорядоченной средой) носят пока качественный характер. Однако этого может быть достаточно для важных заключений.

Своеобразное изменение степени упорядоченности воды после магнитной обработки подтверждается многими экспериментами и *позволяет объяснить (в качественной форме) почти все изменения технологических и биологических процессов, наблюдаемые на практике:*

а) прежде всего изменение ИК-спектров воды (что и установлено экспериментально). Расчеты Л. Г. Сапогина с соавторами показали, что изменение ИК-спектра должно наблюдаться как в области валентных и деформационных колебаний (что отмечено нами экспериментально), так и в далекой ИК-области (0—800 $см^{-1}$), в которой должны появиться новые полосы и смещения вращательно-колебательных спектров [19, с. 22]. Выше показано, что это предположение получило экспериментальное подтверждение [40];

б) увеличение среднестатистического притяжения молекул воды может привести к уменьшению дальней гидратации определенных ионов и повлиять на смачивание водой твердой поверхности. Эти эффекты установлены многими опытами (см. гл. II). Они тесно связаны с коагуляцией, адсорбцией и другими процессами;

в) экстремальный и полиэкстремальный характер зависимости эффектов обработки от напряженности поля и скорости потока, что связано с соблюдением некоторых условий квантования, при которых возникают кольцевые агрегаты и появляется возможность возникновения ассоциатов;

г) уменьшение ионного произведения, подтвержденное экспериментально [12, с. 19], обусловливает наблюдаемое снижение степени гидролиза солей и изменение других физико-химических характеристик воды, рассмотренное в гл. II.

Особое внимание следует уделить роли «преднарушения» структуры воды различными физическими воздействиями, обусловленными, например процессами выделения газов из раствора и их растворения (см. ниже). Воздействию слабых магнитных полей подвержены, прежде всего, молекулы воды, связь которых с другими молекулами чем-либо ослаблена. Легче всего подвергается воздействию молекула, сохранившая одну прочную водородную связь.

Отмеченное на с. 94—95 возможное перераспределение молекул по различным энергетическим уровням может само по себе сказаться на химических реакциях и биологических эффектах.

Возможно, что отсутствие учета степени нарушения структуры воды перед ее магнитной обработкой является одной из причин плохой воспроизводимости лабораторных опытов.

Роль газов, растворенных в воде

Представляет интерес рассмотреть также влияние растворенных в воде газов на результаты магнитной обработки. В воде практически всегда содержатся растворенные газы, сильно и разносторонне влияющие на ее структуру (этот вопрос рассмотрен в гл. I). При полном обезгаживании воды изменяются многие ее физико-химические свойства, т. е. она становится другим веществом. Например, опыты В. Д. и И. Д. Зелепухиных показали, что в этом случае значительно изменяются свойства воды [123].

Почти во всех эффективно действующих аппаратах для магнитной обработки водных систем по ряду причин происходит перепад и даже пульсация давлений, что обусловливает выделение газов из растворов и обратное их растворение. Перепад давлений может вызываться магнитогидродинамическими и, особенно, гидродинамическими воздействиями на поток воды. Магнитогидродинамические факторы рассмотрены в этой главе, гидродинамические — в гл. IV.

Пульсации давления в потоке воды вызывают временное пересыщение растворов газов и флуктуации их концентраций. В процессе возникновения флуктуаций концентраций газов и их исчезновения молекулы газов с большой скоростью перемещаются в воде, нарушая ее структуру и ослабляя связи отдельных молекул с други-

ми окружающими их молекулами. Система становится менее равновесной и, следовательно, более подвержена воздействию магнитных полей. Процессы эти растянуты во времени; не исключено, что «память» водных систем на магнитную обработку связана с кинетикой диффузионных процессов.

Наконец, от концентрации в воде парамагнитного кислорода может зависеть реакция водной системы на воздействие магнитных полей. Опыты А. В. Карякина с ИК-спектрами подтверждают эту возможность [38].

Воздействие полей на ионы в водном растворе (без учета изменения его структуры)

Опыты показывают, что при электромагнитном воздействии на растворы дальняя гидратация ионов и их ассоциатов претерпевает изменения. Возможность этих изменений, обусловленных структурированием воды, отмечалась выше. Но не исключено и прямое воздействие электромагнитных полей на ионы.

В. Б. Евдокимов и А. П. Кравчинский экспериментально подтвердили известный эффект Холла; при наложении магнитного поля на электролит, в котором протекает слабый электрический ток, происходит поперечное разделение ионов разного знака, что сопровождается возникновением разности потенциалов на измерительных электродах. Результаты их измерений приведены в табл. 11.

Опыты показали, что после выключения магнитного поля система не мгновенно возвращается в исходное

Таблица 11. Влияние магнитного поля на величину потенциала в поперечном направлении при разной концентрации раствора $CuSO_4$

Концентрация раствора, мг/л	Максимальное отклонение при включении поля, мВ		Максимальное отклонение при выключении поля, мВ	
	перед включением	после включения	перед выключением	после выключения
0,1	10	25	16	30
0,05	20	80	—	—
0,025	80	350	320	250
0,0015	80	500	—	—

состояние; эффект заметнее для разбавленных растворов. Роль этих эффектов в механизме магнитной обработки предстоит еще выяснить.

При магнитной обработке возникновение электромагнитных полей является следствием перемещения воды в магнитном поле. В этих условиях возникает противоположное циклотронное перемещение катионов и анионов под действием сил Лоренца, обусловливающих движением ионов вокруг силовых линий магнитного поля с определенной частотой. Этот процесс рассмотрен в работах [51, 124] и др., а также Г. А. Семеновым [19, с. 37—40].

Силы Лоренца F определяются уравнением

$$F = KquH \cdot \sin\alpha$$

где q — величина заряда иона;
u — скорость перемещения иона;
H — напряженность магнитного поля;
α — угол между направлением магнитного потока и направлением движения иона;
K — коэффициент пропорциональности.

Расчеты Г. А. Семенова для напряженности поля $7{,}96 \cdot 10^4$ А/м (1000 Э) и скорости воды 1—3 м/с показали, что радиусы циклотронной окружности (Ларморовский радиус) иона кальция и сульфатного иона равны соответственно $\approx 0{,}17$ и $\approx 0{,}4$ мкм. При таких радиусах возможна флуктуация концентрации ионов.

Многие предварительные расчеты показывают, что действие сил Лоренца на ионы раствора, перемещающегося в магнитном поле, очень невелики. В то же время есть много прямых и косвенных экспериментальных доказательств того, что при этом изменение характера движения ионов весьма заметно. Мы уже упоминали об установленном (хотя и незначительном) эффекте Холла. В гидродинамике известен эффект Гартмана: при протекании токопроводящей вязкой жидкости между полюсами магнита профиль скоростей потока меняется — параболическая форма профиля искажается. Эти противоречия могут быть в известной мере объяснены тем, что в условиях магнитной обработки, как уже неоднократно отмечалось, на ионы действует не только магнитное, но и электрическое поле, индуцируемое в перемещающейся электропроводящей жидкости.

В. Г. Быхов, Ю. А. Качалов и Ф. И. Кукоз, приняв ряд допущений, получили уравнение, характеризующее распределение концентрации ионов в сечении потока, направленного перпендикулярно магнитным силовым линиям [19, стр. 68—70]:

$$C = \frac{\eta\sigma b_0}{\alpha k}\, \bar{v}\, \frac{H_a \operatorname{ch} H_a \frac{z}{a} - \operatorname{sh} H_a}{H_a \operatorname{ch} H_a - \operatorname{sh} H_a}$$

где C — концентрация ионов;
η — вязкость раствора;
σ — электропроводность раствора;
b_0 — индукция магнитного поля;
k — постоянная;
$\bar{v}$ — средняя скорость электролита;
H_a — число Гартмана;

$$H_a = \left(\frac{\sigma}{\eta}\right)^{1/2} b_0 \alpha$$

z — координата в направлении поля;
a — полуширина канала.

Это уравнение показывает возможность флуктуации концентрации ионов в растворе при его протекании в магнитном поле.

Представляет интерес рассмотреть процессы, которые могут протекать в краевых зонах магнитного поля. Они могут существенно отличаться от процессов, протекающих в зоне однородного поля. Сильная неоднородность поля в краевых зонах способствует образованию волн и перемещению ионов в направлении распространения волн, т. е. возникают продольные колебания. Кроме магнитно-звуковых волн в краевых зонах возникают колебания электрического поля с той же частотой, что и колебания магнито-звуковых волн. В краевых зонах поля в определенных условиях может возрастать количество «замагниченных» ионов, длина свободного пробега которых без магнитного поля больше ларморовского радиуса, что приводит к возникновению флуктуации концентрации ионов. При этом резко возрастает вероятность ассоциации ионов. При их агрегации происходит нейтрализация ассоциатов, которые выносятся из зоны повышенной концентрации. Эта гипотеза нуждается в проверке.

Большая роль именно краевых зон магнитного поля и концентрации в них ионов в образовании ассоциатов отмечена Е. З. Гак [125]. По ее расчетам гидродинамические колебания (типа звуковых) возникают при ничтожно малых затратах энергии.

Однако флуктуация концентрации растворенных в воде примесей не является единственным результатом воздействия электромагнитных полей. Возможно, что в этом случае происходит также значительное *нарушение гидратных оболочек ионов*. О влиянии магнитогидродинамических сил на асимметрию гидратных оболочек упоминается в работе В. И. Миненко [19, с. 38], но подробно об этом говорится в работе Е. З. Гак, Э. Х. Рохинсон и Н. Ф. Бондаренко [19, с. 57—61].

Для нарушения структуры гидратной оболочки в области дальней гидратации необходимо, чтобы магнитогидродинамическое давление жидкости превышало предельное напряжение сдвига $\tau_{0,2}$; в рассматриваемом случае оно составляет 5—15 Па (50—150 дин/см²) [126]. В свою очередь, магнитогидродинамическое давление можно найти из уравнения

$$p_{\text{мгд}} = 2\mu\mu_0 \frac{\sigma_r}{\delta_r} v_x H a_r$$

где μ — относительная магнитная проницаемость среды;
μ_0 — магнитная постоянная;
σ_r — поверхностная плотность заряда;
δ_r — толщина сольватного слоя;
v_x — скорость движения ионов (с потоком);
H — напряженность магнитного поля;
a_r — радиус сферического иона.

Оптимальную величину напряженности магнитного поля $H_{\text{опт}}$, при которой разрушается гидратная оболочка, можно определить из уравнения

$$H_{\text{опт}} = \frac{\tau_{0,2}\,\delta_r}{2\mu\mu_0\,\sigma_r\, a_x v_x}$$

где a_x — радиус иона;
τ_{02} — напряжение сдвига.

В случае одновременного воздействия на воду скрещенных магнитного и электрического полей (по Э. Х. Ро-

хинсон) магнитогидродинамическое давление в приэлектродной области равно

$$p_м = \mu\mu_0 \frac{IH}{h}$$

где I — сила тока, проходящего через электролит;
h — высота электрода.

Зависимость магнитогидродинамического давления от силы тока проверена на модели — в кольцевой электрохимической ячейке. При этом установлено наличие оптимального соотношения между напряженностью и силой тока, при котором $\tau_{02} \approx 5$ Па.

Таким образом, при перемещении ионов воды в магнитном поле, особенно в краевых его зонах, могут создаваться условия для активной ассоциации ионов — флуктуация их концентрации и нарушение гидратных оболочек ионов. Краевые зоны магнитного поля в определенных условиях могут играть роль своеобразных «фабрик», производящих ионные ассоциаты. Однако это предположение нуждается в экспериментальной проверке.

Остается также совершенно неясным, почему образующиеся ионные ассоциаты при выходе из зоны повышенной концентрации не распадаются мгновенно на отдельные ионы. Если не учитывать возможные структурные изменения (что представляется нам неправильным), то приходится отводить основную роль в стабилизации ассоциатов образованию зародышей новой фазы, быстро возникающих и медленно разрушающихся. Определенную роль в этом процессе могут играть и предзародышевые скопления ионов и молекул, необходимые для накопления такой массы вещества, при которой скачкообразно возникают устойчивые зародыши новой твердой фазы. Пульсации давления могут привести и к возникновению зародышей пузырьков газов [127].

Все приведенные соображения пока носят только гипотетический характер. Их оценка, проверка и практическое использование чрезвычайно затруднены сложностью реальных водных систем, особенно их ионных сочетаний. Оптимальные режимы обработки при различных ионных парах и их концентрациях могут быть совершенно разными. Очевидно, нужно выделить определенные «ионы—гегемоны», концентрация которых и

степень влияния на свойства водной системы будут преобладающими. Тогда выбор режима обработки должен определяться именно этими ионами. Так, многими авторами отмечено положительное воздействие ионов кальция, меди и некоторых других ионов на изменение свойств водных систем. Возможно, именно эти ионы должны играть роль «гегемона».

Воздействие магнитных полей на коллоидные ферро- и парамагнитные частицы

Гипотезы этой группы связаны с желанием найти простое объяснение ускорения процессов кристаллизации после магнитной обработки [128]; эти гипотезы подтверждаются и некоторыми экспериментальными данными, свидетельствующими об ускорении процесса кристаллизации после добавления коллоидных ферро- и парамагнитных частиц. К тому же в технической воде всегда присутствуют микрочастицы окислов железа.

Прежде всего следует выяснить, какие коллоидные железосодержащие частицы могут присутствовать в воде. Этот вопрос был специально исследован А. И. Горшковым [12, с. 72—74]. Рассмотрев на основе диаграммы Пурбэ условия термодинамической устойчивости гидроокисей железа в воде в присутствии его двух- и трехвалентных ионов и измерив pH-окислительный потенциал в разбавленном (1—10 мг/л) растворе $FeCl_2$, А. И. Горшков установил, что в реальных условиях присутствие в воде частиц магнетита маловероятно. Следовательно, коллоидные железосодержащие частицы, присутствующие в воде, по всей вероятности обладают не ферромагнитными, а парамагнитными свойствами.

Согласно В. И. Каткову и Е. Ф. Тебенихину [12, с. 274—283], при магнитной обработке воды происходит агрегация ферромагнитных частиц, ускоряющая кристаллизацию. Опыты с очень крупными частицами магнетита показали, что они действительно слипаются в магнитном поле. Однако парамагнитные частицы $Fe(OH)_3$ не слипаются в магнитном поле. Эта гипотеза в качестве основной несостоятельна по следующим причинам: 1) в воде, как сказано выше, присутствуют в основном не ферро-, а парамагнитные частицы; 2) если бы все сводилось к магнитной коагуляции взвесей, то зависи-

мость эффекта от напряженности поля не имела бы экстремального и, тем более, полиэкстремального характера; 3) согласно опытам Е. Е. Бибика и И. С. Лаврова, золи Fe_3O_4 размерами более 20 нм вполне устойчивы даже при воздействии сильных магнитных полей [32, стр. 7]; 4) эта гипотеза неприемлема для объяснения других последствий магнитной обработки. В частности, магнитной коагуляцией парамагнитных коллоидных частиц удобно объяснить замедление образования накипи в омагниченной воде, получившее наибольшее практическое применение. Однако всеми экспериментаторами в лабораторных и промышленных условиях отмечено одновременное растворение старой накипи, что трудно (даже невозможно) связать с магнитной коагуляцией. Поэтому, повторяем, магнитную коагуляцию коллоидных частиц, по нашему мнению, нельзя рассматривать как основной и универсальный механизм воздействия магнитной обработки на водные системы.

М. Л. Михельсон [32, с. 3—62] термодинамическими расчетами показал, что магнитные поля могут активировать коллоидные центры кристаллизации. Это влияет на кинетику роста кристаллов солей жесткости на намагниченных частицах магнетита. Представляется возможным обосновать полиэкстремальную зависимость эффекта воздействия от напряженности магнитного поля и экстремальную — от скорости потока (это подтверждено расчетами на ЭЦВМ). Дальнейшие опыты показали, что при одинаковом химическом составе раствора бикарбоната кальция после магнитной обработки кристаллизация на частицах магнетита происходит со значительно большей скоростью, чем на таких же частицах кальцита [19, с. 159—161]. В этой работе М. Л. Михельсон описывает один из возможных, по-видимому, частных механизмов воздействия магнитной обработки на процесс кристаллизации.

Следует подчеркнуть, что во всех случаях при обсуждении результатов опытов, проводимых с добавками растворов солей железа или тонкого порошка магнетита, не учитывается два важных обстоятельства: 1) *вместе с указанными примесями в воду неизбежно вводятся ионы железа и другие ионы,* поэтому существенно изменяется ионный состав среды и 2) вокруг намагниченных ферро- и парамагнитных частиц *образуются магнитные поля, которые могут существенно влиять на близлежащую воду.* Другими словами, нельзя считать, что отмечаемое в ряде опытов ускорение процессов кристаллизации при добавлении солей железа или порошка магнетита является следствием только слипания или активации частиц этих веществ. Не исключено, что ускорение кристаллизации вызывается и воздействием магнитного и электрического полей на ионы и структуру воды.

* *
*

Рассмотрение возможных направлений влияния магнитных полей на водные системы свидетельствует о сложности проблемы. Сказанное подтверждает, что теория омагничивания водных систем еще отсутствует; мы здесь лишь поставили отдельные вопросы, решение которых возможно только с привлечением фундаментальной науки. Ни в коем случае нельзя противопоставлять перечисленные механизмы воздействия магнитных полей один другому. Возможно, что одновременно действует несколько механизмов.

Выявление главного механизма для каждого процесса и его общего характера является основной задачей теории магнитной обработки водных систем.

3. ВОСПРОИЗВОДИМОСТЬ ОПЫТОВ

Важной особенностью опытов по омагничиванию водных систем, проведенных в лабораторных условиях, является вариабельность полученных результатов, что мы подчеркивали неоднократно [12, стр. 11]. Существует много явлений, для которых почти невозможно достоверно предсказать единичное событие, поэтому возникает необходимость применения вероятностных законов. Но в нашем случае вариабельность результатов крайне нежелательна. Ее можно объяснить следующим образом:

а) изменение многих свойств гомогенных водных систем количественно незначительно, их оценка требует применения особо точной аппаратуры и полной стабилизации всех условий проведения опытов;

б) концентрация в воде отдельных примесей (в ионной и молекулярной форме, в частности — газов) и их количественное соотношение могут быть весьма различными и, в ряде случаев, трудно идентифицируемыми. Ведущая же роль примесей при магнитной обработке воды представляется несомненной;

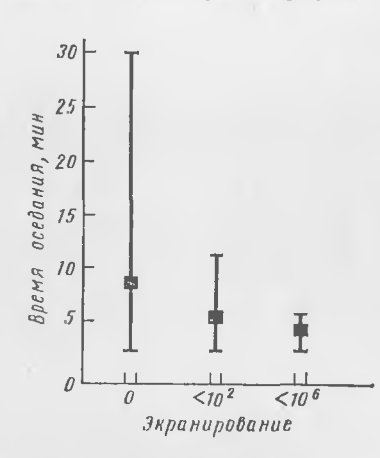


Рис. 36. Влияние степени экранирования водной системы от внешних наводок на разброс данных о скорости оседания в воде золя оксихлорида висмута.

в) вода и водные растворы, как это выявилось в последние годы, весьма чувствительны к различным внешним воздействиям. В гл. I приведен ряд примеров влияния возраста воды и механических воздействий на ее структурночувствительные свойства. Есть много данных о значительном влиянии на воду внешних наводок. Впервые это было четко отмечено Дж. Пиккарди [G. Piccardi). В последние годы Г. Ф. Плеханов и А. М. Опалинская [19, с. 82; 129, с. 21—23] провели около тысячи опытов по методу Пиккарди (измеряли скорость оседания золя оксихлорида висмута, зависящую от степени коагуляции частиц). Результаты их опытов (рис. 36) подтвердили высокую чувствительность водной системы к очень слабым внешним электромагнитным воздействиям. Такое же влияние оказывают искусственные наводки, хаотически и бесконтрольно изменяющиеся, например, при включении и выключении различных нагрузок в осветительную сеть, искрение разных выключателей. Опыты и расчеты показывают, что даже при включении электрической лампы мощностью 100 Вт на расстоянии 10 м от сосуда с водой изменяется степень коагуляции золя оксихлорида висмута, хотя уровень поля изменяется всего на десятки гамм [19, с. 82]; не исключается и действие на воду света, имеющего электромагнитную природу.

г) характеристика магнитного поля по его средней напряженности (см. гл. II и IV) совершенно недостаточна для случая магнитной обработки. Более детальная характеристика магнитного поля и ее вариации, как правило, не оценивались, что делает несопоставимыми условия опытов разных авторов.

Все перечисленные обстоятельства сильно осложняют технику лабораторных экспериментов. Она в данном случае должна быть не только точной, но и весьма специфичной (особенно обязательна защита от внешних наводок, этого еще никто не делал). Но современной науке свойственно преодоление и больших экспериментальных трудностей.

Следует подчеркнуть, что в промышленных условиях результаты магнитной обработки обычно более стабильны и часто лучше лабораторных. Это, быть может, связано и с иной гидродинамикой потоков в промышленных аппаратах, обработкой больших объемов воды и стабилизацией отдельных частностей.

Говоря о роли внешних наводок при омагничивании водных систем, нельзя обойти молчанием так называемую сезонную зависимость результатов (хотя этот вопрос рассматривается учеными — геоцентристами неизменно скептически).

Еще Дж. Пиккарди отметил усиление гелиомагнитных воздействий на водные системы в мае — июне. Ф. И. Кукоз, М. Ф. Скалозубов и Г. К. Чернов отметили, что омагничивание воды, применяемой для затворения цементных растворов, наименее эффективно в мае — июне [43, с. 29—30]. Прирост прочности образцов после магнитной обработки (достоверный) в 1965 г. составлял: в январе 50—60%, мае 2—5%, сентябре 20—25%, октябре 40%. Систематически исследуя в течение трех лет изменение магнитной восприимчивости растворов сульфата никеля, эти авторы получили кривую с четким минимумом в апреле — мае (рис. 37). Хотя эти данные и были весьма надежными, их следовало подтвердить изменением другого эффекта.

Такое подтверждение получено в работе П. В. Денисова и С. Л. Репринцевой [130]. Они также замечали снижение некоторых технологических эффектов омагничивания в мае — июне. Лабораторные опыты проводили в 1968—1969 гг. с раствором серной кислоты, для кото-

рой было установлено изменение плотности после магнитной обработки. Результаты их опытов также приведены на рис. 37. Как видно из рис. 37, характер кривых аналогичен.

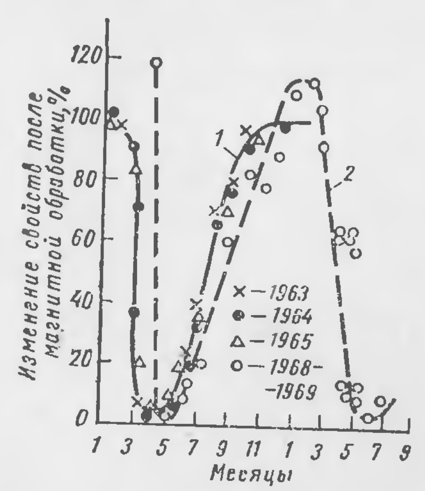


Рис. 37. Изменение свойств водных растворов после омагничивания в зависимости от времени года:

1 — изменение магнитной восприимчивости раствора сульфата никеля; 2 — изменение плотности раствора серной кислоты.

Причины таких (не всегда отмечаемых) проявлений сезонности точно не установлены. Дж. Пиккарди предполагает, что они связаны с изменениями в космосе в этот период года. Во всяком случае их нельзя связать с поступлением талых вод, поскольку опыты проводили с растворами различных веществ в бидистилляте.

ГЛАВА IV

АППАРАТЫ ДЛЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ОБРАБОТКИ ВОДНЫХ СИСТЕМ

Большой промышленный интерес к электромагнитной обработке водных систем, с одной стороны, и незавершенность теоретических основ процесса, с другой, обусловили появление различных (более семидесяти) вариантов конструкций аппаратов для ее осуществления. Лишь некоторые аппараты были выпущены серийно. Причем эффективность промышленного применения этих аппаратов не сопоставлялась; лишь в первом приближении были выявлены основные принципы их эксплуатации.

В монографиях, посвященных электромагнитной обработке водных систем, имеются специальные разделы, в которых дается расчет аппаратов [34, 60, 131]. Однако общим недостатком всех расчетов является то обстоятельство, что они построены на основных характеристиках магнитных полей и гидродинамики потоков, которые еще недостаточно изучены. Как показано выше, результаты обработки в общем случае не имеют простой однозначной зависимости от средней напряженности магнитного поля, его градиента, величины пондеромоторной силы. Между тем в расчетах вынужденно и априори постулируются именно такие однозначные зависимости, исходя из которых выполняются детальные расчеты аппаратов — гидродинамический (по заданной производительности) и электротехнический (с определением коэффициента использования магнитного потока, характеристик электромагнитных катушек, магнитной индукции в зазоре и др.).

В последнем случае расчеты электромагнитных систем разных аппаратов принципиально не отличаются один от другого. Так, методика расчета аппаратов для послойной обработки воды, разработанная московским

заводом «Котлоочистка», основана на данных Б. П. Татаринова, а методика расчета аппаратов с постоянными магнитами — на данных Г. И. Анофриева и А. М. Крапивина. Безусловно, все эти расчеты нуждаются в доработке, поэтому ниже приведены лишь сведения об основных конструкциях аппаратов и принципах их эксплуатации.

1. АППАРАТЫ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ

Аппараты, сконструированные во Всесоюзном теплотехническом институте, оснащены постоянными кольцевыми магнитами, изготовленными из сплава магнико (ВТИ-1) или из сплава «АЛНИ» (ВТИ-2). Внутри кольцевых магнитов помещены сердечники из железа армко, их диаметр определяет величину зазора и, следовательно, напряженность поля (примерно 79,6 кА/м или 1,0 кЭ). В этом аппарате поток жидкости пересекает два поля (рис. 38).

Рис. 38. Схема аппарата ВТИ-2:
1 — постоянный магнит; *2* — полюсные наконечники; *3* — сердечник; *4* — силовые линии; *5, 6* — вход и выход воды.

Аппараты ПМУ-1, серийно выпускаемые только заводом им. Войкова, состоят из трех—пяти однотипных, последовательно соединенных чугунных секций (рис. 39). Кольцевой зазор между постоянными магнитами и корпусом составляет 2,5 мм. Напряженность магнитного поля (максимальная) в первой секции 87,6 кА/м (1100 Э), в остальных четырех по 143 кА/м (1800 Э). Скорость воды 1—2 м/с, производительность 2—7 м^3/ч. В 1963 г. этот завод выпустил 30 аппаратов, в 1977 г. выпуск этих аппаратов достиг 65 тыс. штук. Стоимость одного аппарата 26 руб.

На рис. 40 показан аппарат Новочеркасского завода постоянных магнитов производительностью 100 м^3/ч. Напряженность магнитного поля в зазоре составляет примерно 119 кА/м (1500 Э); скорость потока воды 2 м/с.

Бельгийская фирма «Эпюро» в течение нескольких десятилетий выпускает аппараты «Сері» (по патенту Т. Вермайрена), оснащенные постоянными магнитами, производительностью от 0,03 до 36 000 м^3/ч. В США аналогичные аппараты выпускает фирма «Паккард», в

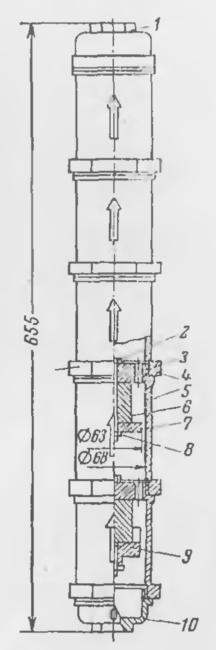


Рис. 39. Аппарат ПМУ-1 завода им. Войкова:
1 — верхняя крышка; *2, 3* — болты с гайкой; *3* — отверстие в дне стакана; *4* — прокладка; *5* — чугунный стакан (магнитопровод); *6* — постоянный магнит; *7, 9* — полюсные наконечники; *10* — нижняя крышка.

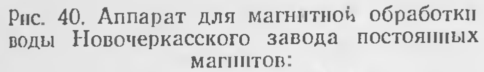
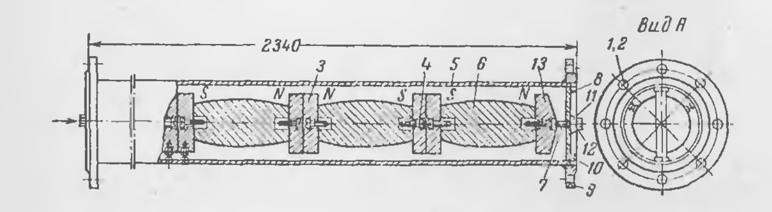


Рис. 40. Аппарат для магнитной обработки воды Новочеркасского завода постоянных магнитов:
1, 2 — установочный винт с гайкой; *3, 13* — полюсные наконечники; *4* — винт; *5* — труба; *6* — магнит; *7* — болт; *8* — траверса; *9* — фланец; *10* — сухарь; *11* — бобышка; *12* — шайба пружинная.



Англии — фирма «Поляр». В литературе обычно приводится лишь внешний вид этих аппаратов и не дается описания их конструкции. Лишь в последние годы появились фотографии вскрытых крупных аппаратов «Сері» (рис. 41), из которых видно, что обрабатываемая вода

протекает через узкие щелевые зазоры между цилиндрическими и кольцевыми постоянными магнитами (рис. 42). Корпуса аппаратов изготавливают из металла, а также из синтетических материалов. Конструкцию ап-

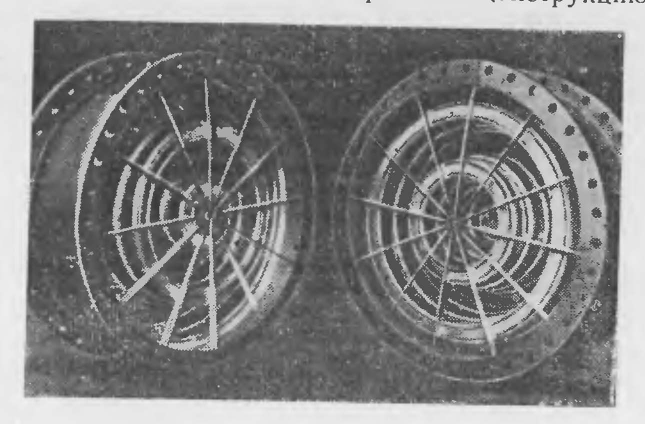


Рис. 41. Вид аппарата «Сері» типа Т-56 производительностью до 36 тыс. м³/ч.

паратов «Сері» следует рассмотреть подробнее, поскольку принцип их работы может стать основой для суждения о механизме магнитной обработки и способах оптимизации процесса.

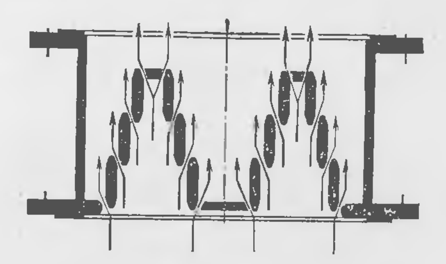


Рис. 42. Схема движения воды в высокопроизводительном аппарате «Сері» типа Т-56.

Единственным устройством, запатентованным 12 октября 1966 г. Т. Вермайреном в Советском Союзе (патент № 288683), является «...устройство для обработки

жидкости с помощью магнитного поля, представляющее собой канал, стенки которого образованы магнитами, создающими поперечное магнитное поле, отличающееся тем, что с целью повышения эффективности обработки жидкости рабочий участок канала выполнен из про-

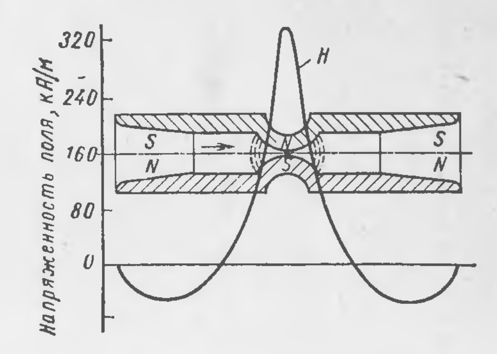


Рис. 43. Разрез небольшого аппарата «Сері» типа АД 1/2.

дольных постоянных магнитов, каждый из которых имеет в центре выступ, представляющий собой полюс противоположного знака полюсу концов, а полюса расположенных один против другого выступов имеют различные знаки».

На рис. 43 приведен разрез аппарата «Сері» невысокой производительности, реализующий указанный патент. Результаты измерения напряженности поля по длине этого аппарата *, проведенного в нашей лаборатории, показали, что она изменяется: примерно на одной трети расстояния от концов аппарата знак полюсов меняется; в области сужения, образуемого кобальт-самариевыми магнитами, напряженность поля резко возрастает до 320 кА/м (4000 Э). Следовательно, в этом аппарате поток воды проходит поля переменной полярности, а также область с очень высоким градиентом напряженности. Кроме того, в этом узком канале в соответствии с законами гидродинамики возникает резкий перепад давления.

* Аппарат был представлен нам для исследования Т. Вермайреном, за что автор выражает ему большую признательность.

Таблица 12. **Характеристика аппаратов «Серi» типа W**

Марка	Расход жидкости, м³/ч		Масса, кг	Размеры (длина между фланцами × ×диаметр), мм
	минимальный	максимальный		
АД 1/2″	0,12	0,48	0,25	100×22
ВД 3/4″	0,30	1,2	0,47	120×30
ДД 5/4″	0,78	3,0	1,40	150×42
ЕД 6/4″	1,2	4,8	2,0	175×50
ЕД 2″	1,8	7,8	3,15	210×60
ДД 5/4″	0,78	3,0	4,80	155×42
ЕД 6/4″	1,2	4,8	5,80	180×50
FД 2″	1,8	7,8	8,40	215×60
Т2″W	3,5	15	7,5	250×70
Т2 1/2″W	5,5	21	11	250×90
Т3″W	6,5	25	14	250×100
Т4″W	11	45	18	250×129
Т5″W	12	54	22	250×156
Т6″W	22	90	32	250×176
Т8″W	50	207	48	450×226
Т10″W	70	275	80	600×287
Т12″W	130	525	100	500×337
Т14″W	175	686	130	500×391
Т16″W	250	960	160	500×441
Т18″W	310	1225	200	500×495
Т20″W	420	1560	230	500×545
Т22″W	490	1930	275	500×545
Т24″W	550	2160	315	500×645
Т28″W	720	2870	415	500×745
Т32″W	990	3708	510	500×845
Т36″W	1290	4860	620	500×945
Т40″W	1620	6000	740	500×1045
Т44″W	1950	7020	870	500×1145
Т48″W	2340	8700	1000	500×1245
Т52″W	2670	9900	1140	500×1345
Т56″W	3120	11700	1300	500×1445
Т60″W	3600	13500	1450	500×1749
Т72″W	5040	18900	2060	500×1849
Т76″W	5070	21600	2200	500×1949
Т80″W	6420	24000	2480	500×2049
Т84″W	7080	25800	2650	500×2149
Т88″W	7800	28500	2880	500×2249
Т92″W	8400	30900	3100	500×2349
Т96″W	9180	33900	3330	500×2449
Т100″W	10080	36600	3580	500×2549

Общая характеристика аппаратов «Серi» приведена в табл. 12 и 13. Аппараты типа W предназначены для

Таблица 13. **Характеристика аппаратов «Серi» типа А**

Марка	Расход жидкости, м³/ч		Масса, кг	Размеры (длина между фланцами× ×диаметр), мм
	минимальный	максимальный		
Стандартные аппараты				
Т1″А	0,36	1,8	4,8	200×145
Т5/4″А12	0,36	3,6	10	200×180
Т6/4″А21	0,36	6,3	13,5	200×210
Т2″А30	0,36	9,0	16	200×245
Специальные аппараты				
Т $2^1/_2$А	3	15	9,3	200×104
Т4″А	6	30	13,5	200×136
Т5″А	9	45	21	200×166
Т6″А	15	75	30	200×200
Т8″А	24	120	44	200×248
Т10″А	30	150	59	200×298
Т12″А	54	270	88	200×354
Т14″А	70	355	113	200×408
Т16″А	96	480	146	200×460
Т18″А	114	570	177	200×510
Т20″А	147	735	210	200×560

обработки воды с содержанием солей до 2000 мг/л, аппараты типа А — для обработки более концентрированных и агрессивных растворов (аммиачных растворов, щелочей, кислотных и бисульфитных щелоков, растворов сахара, вин и др.).

Своеобразными аппаратами с постоянными магнитами являются так называемые магнитофоры. Они представляют собой пластины резины, в которые впрессованы небольшие постоянные магнитики.

2. АППАРАТЫ С ЭЛЕКТРОМАГНИТАМИ

В аппаратах этого типа электромагниты могут быть расположены внутри корпуса или вне его (последнее предпочтительнее). Примером аппаратов с внутренним расположением электромагнитов является конструкция Алмаатинского завода тяжелого машиностроения (рис. 44). Электромагниты этих аппаратов состоят из

стального стержня с шестью кольцевыми пазами, в которых размещена обмотка из провода ПЭЛ-1 диаметром 0,37 мм. Ток — постоянный; после селенового выпрямителя напряжение составляет 100 В, сила тока 0,5 А. Напряженность магнитного поля достигает 200 кА/м (2500 Э). Кожух с электромагнитом заполнен трансформаторным маслом. Вода проходит семь магнитных полей со скоростью 2 м/с. Производительность аппарата 25 м^3/ч; стоимость около 300 руб.

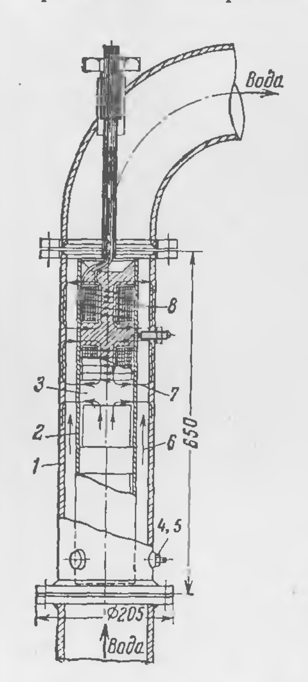


Рис. 44. Аппарат типа АЗТМ:

1 — корпус из диамагнитного материала; 2 — кожух; 3 — электромагнит; 4, 5 — стопорный винт с гайкой; 6 — направление движения воды; 7 — направление магнитных силовых линий; 8 — направление тока в катушке.

Аналогичные аппараты несерийно выпускает Копейский рудоремонтный завод и некоторые другие предприятия. Сходную конструкцию имеют аппараты Харьковского инженерно-экономического института (рис. 45, *а*).

На рис. 45, б показан аппарат конструкции также Харьковского инженерно-экономического института, но с наружным расположением катушек электромагнитов. Характеристика этих аппаратов приведена в табл. 14.

На рис. 46 показан аппарат с наружным расположением катушек электромагнитов конструкции «Башэнергонефть». Его производительность составляет примерно 100 м^3/ч. Аппараты конструкции «Башэнергонефть» с внутренним расположением катушек рассчитаны на более высокую производительность (150—1000 м^3/ч). Их характеристика приведена в табл. 15.

На рис. 47 приведен аппарат с послойной обработкой воды Ростовского института инженеров железнодорожного транспорта (РИИЖТ).

В аппарате этого типа вода проходит через кольцевые щели (см. рис. 47). Аппарат состоит из двух внешних отрезков трубы, между которыми концентрически

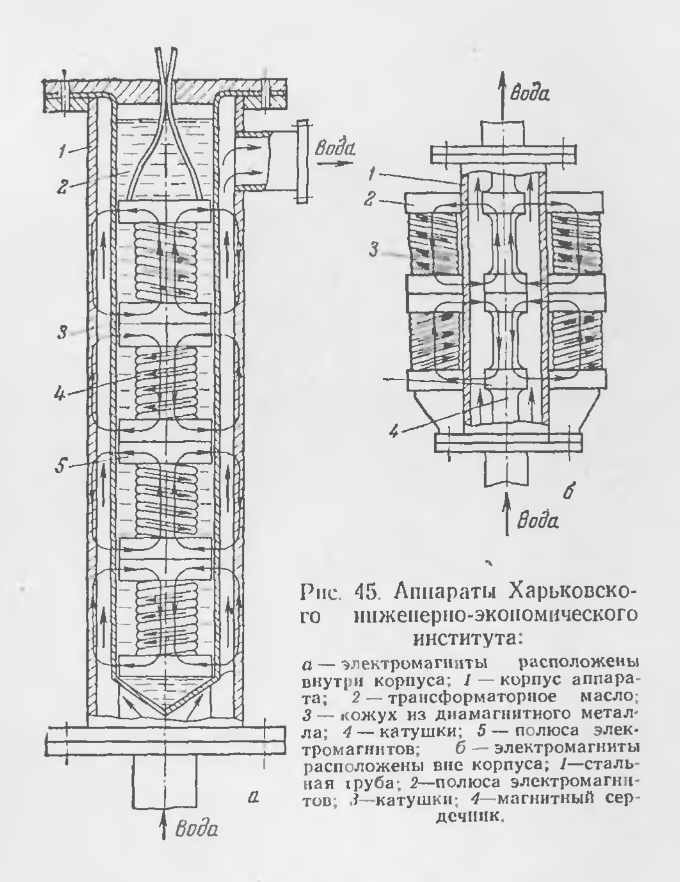


Рис. 45. Аппараты Харьковского инженерно-экономического института:

а — электромагниты расположены внутри корпуса; 1 — корпус аппарата; 2 — трансформаторное масло; 3 — кожух из диамагнитного металла; 4 — катушки; 5 — полюса электромагнитов; *б* — электромагниты расположены вне корпуса; 1 — стальная труба; 2 — полюса электромагнитов; 3 — катушки; 4 — магнитный сердечник.

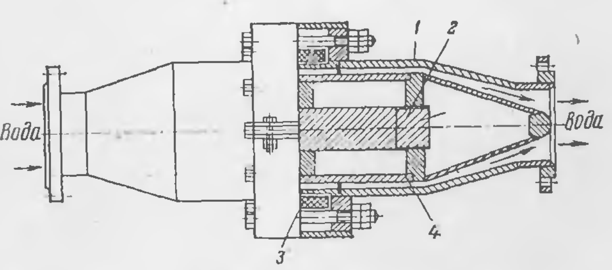


Рис. 46. Аппарат с наружным расположением электромагнитов конструкции «Башэнергонефть»:

1 — корпус, 2 — сердечник; 3 — намагничивающая катушка; 4 — диамагнитный цилиндр.

Таблица 14. **Характеристика аппаратов с внешним расположением электромагнитов с напряженностью поля 96 кА/м (1200 Э)**

(конструкция Харьковского инженерно-экономического института)

Показатели	Тип аппарата								
	П-02	П-06	П-08	П-10	П-16	П-30	П-50	П-100	проектируются
Производительность, м³/ч	2	6	8	10	16	30	50	100	14400
Длина, м	0,7	0,8	0,9	1,0	1,0	1,0	1,2	1,5	
Число катушек	6	6	6	6	6	6	6	6	44
Число ампер-витков	1260	1800	2300	2500	3100	3650	4200	6920	15340
Общая длина пути воды в магнитном поле, см	30	31	35	35	30	340	350	300	—
Удельный расход электроэнергии, Вт/м³	35	17	17	18	13	10	7	6	3

Таблица 15. **Характеристика крупных аппаратов с внутренним расположением электромагнитов конструкции «Башэнергонефть»**

Показатели	Тип				
	I	II	III	IV	V
Производительность, м³/ч	150	200	400	600	1000
Рабочий зазор, см	1,4	3,2	5,4	6,4	8,5
Скорость воды, м/с	3,0	2,0	2,0	2,0	1,5
Напряженность магнитного поля, кА/м	51	32	32	32	32
Число катушек	5	2	3	3	3
Удельный расход, энергии, Вт/м³	18	4,3	3,4	3,7	3,5
Длина, м	3,4	2,1	2,9	3,4	4,5
Масса, т	0,8	0,4	0,8	1,2	2,4

расположены кольца из магнитомягкого железа, составляющие левую и правую кольцевые системы, смещенные друг относительно друга. Эти кольца намагничиваются внешней катушкой. Магнитный поток по левой и правой системам распределяется при помощи основных

магнитопроводов и коротких вставок между кольцами. Зазоры между кольцами левой и правой магнитных систем уменьшаются от периферии к центру; этим дости-

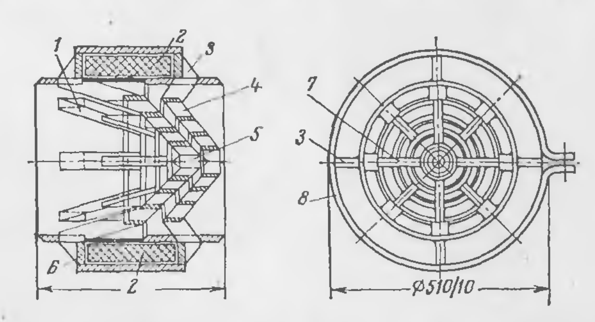


Рис. 47. Аппарат для «послойной» магнитной обработки воды производительностью 400 м³/ч конструкции РИИЖТ:

1 — левая полярная система; *2* — намагничивающая катушка; *3* — косынка; *4* — правая полярная система; *5* — центральный конус; *6* — диамагнитная обечайка; *7* — магнитопроводы — вставки; *8* — хомут-магнитопровод.

гается равенство средних напряженностей магнитного поля во всех зазорах. Но поле в зазорах неоднородное. На рис. 48 приведены значения напряженности в отдельных точках зазора аппарата этого типа, изготовленного заводом «Котлоочистка» *.

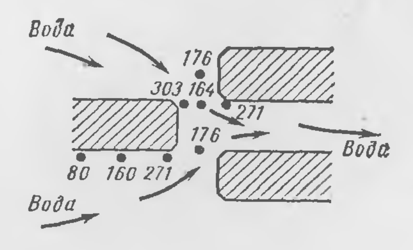


Рис. 48. Напряженность магнитного поля в зазорах магнитов аппарата (в кА/м).

Аппарат типа АМО, разработанный институтом «Гипромашобогащение» на основе наших данных, представляет собой диамагнитный желоб, расположенный между пятью С-образными электромагнитами (рис. 49). Питаются они постоянным (в некоторых случаях — переменным) током. Напряженность поля 64—160 кА/м (800—2000 Э), скорость потока (в зависимости от напора) 0,8—2,8 м/с; высота потока пульпы 80—100 мм, производительность аппара-

* По данным Э. Рохинсон.

тов разных размеров 100—250 м³/ч. Аппараты этого типа предназначены для обработки суспензии (пульпы).

Аппарат института «Казмеханобр» представляет собой вертикальный цилиндр из диамагнитного материала, в который тангенциально поступает пульпа или вода (рис. 50). Цилиндр окружен соленоидом, питаемым по-

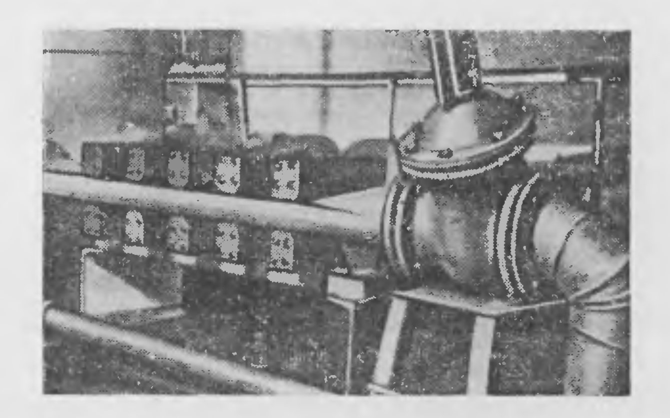


Рис. 49. Аппарат типа АМО для обработки пульпы.

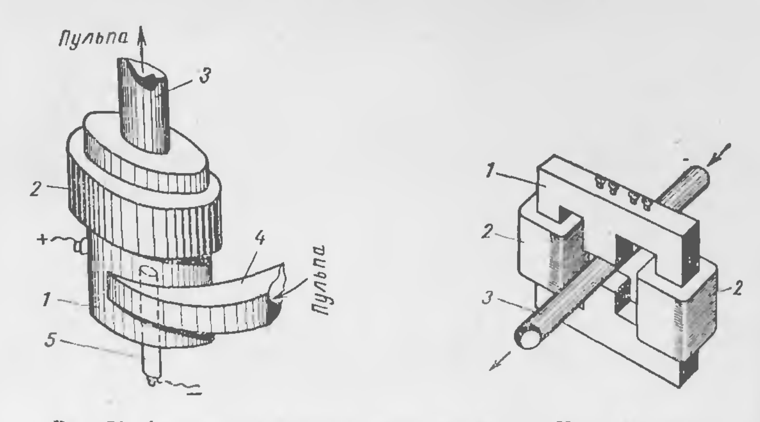


Рис. 50. Аппарат циклонного типа института «Казмеханобр»:
1 — цилиндрический корпус; 2 — катушка электромагнита; 3 — выходной патрубок; 4 — входной патрубок; 5 — стержневой электрод.

Рис. 51. Схема аппарата трансформаторного типа:
1 — ярмо; 2 — катушки; 3 — диамагнитная труба.

стоянным, переменным или пульсирующим током. Аппарат предназначен для обработки воды и пульпы.

На рис. 51 показан аппарат трансформаторного типа, представляющий собой ярмо из магнитомягкого железа (чаще всего ярмо трансформатора) с соленоидами, на которые подается переменный ток с разной частотой, подбираемой для каждого случая. Аппараты такого типа применяют чаще для лабораторных исследований.

3. СРАВНЕНИЕ АППАРАТОВ И ПРИЕМЫ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Чтобы определить, в каком из рассмотренных выше аппаратов достигается лучшая обработка, необходимо сравнить результаты их работы в строго одинаковых условиях с различными водными системами. Однако такого рода исследования не проводились. Правда, в 1969 г. В. Е. Зеленков и Ю. К. Чернов в институте «Казмеханобр» провели испытания лабораторных аппаратов: трансформаторного, многоконтурного (типа АМО), конструкции «Казмеханобр» и униполярного. Обработке подвергали алмаатинскую природную воду (pH 7,1—7,3) примерно одинакового состава, мг/л:

Mg^{2+}	3,2	SO_4^{2-}	16,0
Ca^{2+}	28,0	Cl^-	12
$Na^+ + K^+$	450	Fe	0,15
HCO_3^-	73,0		

В качестве основного параметра сравнения была выбрана величина изменения магнитной восприимчивости воды, измеряемая методом Квинке через 30 мин после обработки (обычно в этом случае эффект обработки был максимальным). Оценка изменения этого параметра носила статистический характер, при этом учитывались возможная систематическая (определяемая классом прибора) и вероятностная ошибки. Результаты опытов показали, что для одной и той же системы изменение магнитной восприимчивости в разных аппаратах было различным, %:

Трансформаторный	14
Конструкции «Казмеханобр»	11
Многоконтурный, типа АМО	13
Униполярный с зазором длиной, мм:	
5	5
1	0

Варьируя расстояние между полюсами магнитов АМО (с десятью подковообразными магнитами), снабженных полюсными наконечниками в виде трехгранных призм, изменяли градиент напряженности магнитного поля. Результаты опытов показали, что имеется четкая

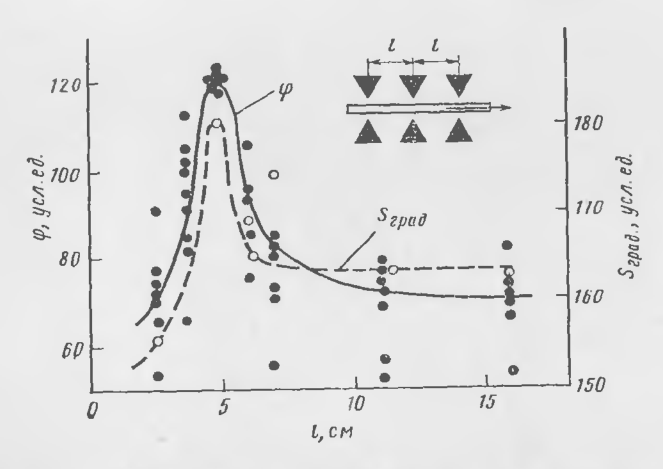


Рис. 52. Влияние расстояния между смежными парами магнитов l на величину зоны максимального градиента напряженности магнитного поля $S_{град}$ и поляризацию электрода φ.

связь между величиной эффекта и длиной зоны максимальных градиентов напряженности поля, в которых находится водная система при магнитной обработке (рис. 52).

Обобщая опыт эксплуатации аппаратов в промышленных условиях, можно составить следующие рекомендации, позволяющие получать устойчивые положительные результаты [12, 19, 34, 60, 131].

1. Во всех случаях должна осуществляться предварительная настройка аппаратов. Работу аппарата необходимо систематически (не реже 1—2 раз в сутки) контролировать методом, моделирующим данный процесс (см. раздел 4 этой главы).

2. Расход воды как и ее состав должны быть максимально стабилизированы.

3. Межполюсный канал должен быть заполнен водой с тем, чтобы исключить образование в нем воздушных пробок и застойных зон. Для этого необходимо подавать воду (или суспензию) в аппарат снизу вверх и периодически промывать канал. Для удаления от полюсов скоплений магнитных частиц аппаратурного железа необходимо систематически переключать полюса электромагнитов. Аппараты с постоянными магнитами нужно своевременно очищать.

4. В соответствии с рекомендациями фирмы «Эпюрекс», в воде должны отсутствовать окислы железа в коллоидной форме (!) и пузырьки газа, так как в противном случае эффективность применения аппаратов «Сеpi» резко снижается.

4. ИНДИКАЦИЯ ЭФФЕКТА ДЕЙСТВИЯ АППАРАТОВ

Для стабильного получения лучших практических результатов электромагнитной обработки водных систем, с учетом неизбежности изменения во времени различных условий, необходим непрерывный контроль эффективности действия аппарата. В идеальном случае необходима обратная связь между показанием датчика, установленного после аппарата, и устройством, автоматически регулирующим режим магнитной обработки (например, устройством, оптимизирующим напряженность магнитного поля). Не менее важна индикация эффекта магнитной обработки в исследованиях, а также в пусковой период промышленных аппаратов.

Решение всех этих важных вопросов связано с созданием точных, прочных и быстродействующих датчиков— индикаторов изменения свойств воды разного состава после магнитной обработки. Таких датчиков пока еще нет. Поэтому можно использовать описанные в гл. II методы оценки изменений гомо- и гетерогенных водных систем. Однако все они довольно сложны и требуют большой точности проведения опытов. Следует помнить, что методы индикации не должны воздействовать на объект оценки и изменять водную систему при измерении ее свойств.

Обобщая имеющийся опыт исследований, можно рекомендовать для первоочередного применения следующие методы:

оптические — по изменению экстинкции света и диссиметрии его рассеяния;

кристаллохимические — с оценкой скорости возникновения кристаллов в обработанной воде и эталоне по светопоглощению, изменению отложений солей на стенках сосудов, вводимых в них стеклах и проволоках. Иногда при этом оценивают под микроскопом размеры и форму кристаллов;

коагуляционные — по кинетике оседания твердой дисперсной фазы в воде — золей оксихлорида висмута («тест Пиккарди»), тонкоизмельченного магнетита и др.;

радиоэлектронные и электрохимические — по изменению диэлектрической проницаемости воды, электрохимической поляризации электродов, вызываемой током низкой частоты (метод С. М. Ремпеля);

химические (например, по изменению скорости реакций, pH среды, цвета осадков бихромата калия из раствора уксуснокислого свинца);

магнитометрические методы, их результативность и техника применения подробно описаны в соответствующей литературе [34, с. 41—46; 132; 12, с. 74—82; 19, с. 98—108].

Необходимо выяснить, насколько универсальны эти методы, можно ли по изменению одного из свойств водной системы после электромагнитной обработки судить об обязательном изменении других ее свойств и, тем более, о применении такой воды для различных процессов. Можно считать, что этот вопрос выяснен в самом первом приближении.

В. И. Зеленков и Ю. К. Чернов [12, с. 82—86] сопоставили оценки изменений свойств воды после магнитной обработки с помощью четырех различных показателей: магнитной восприимчивости, размеров образующихся кристаллов накипи, экстинкции света и частотно-зависимого компонента электрохимической поляризации электрода (рис. 53). Опыты проводили с алмаатинской водой, содержащей, мг/л:

Ca^{2+} . . .	48,1	HCO_3^- . .	219
Mg^{2+} . . .	0,7	SO_4^{2-} . . .	43,6
$Na^+ + K^+$	49,5	Cl^-	9,9

Отмечена хорошая воспроизводимость результатов опытов; каждой точке соответствовало не менее шести опытов. Экстремальные точки для большинства методов совпадали. Коэффициент корреляции лежал в пределах 0,6—0,8.

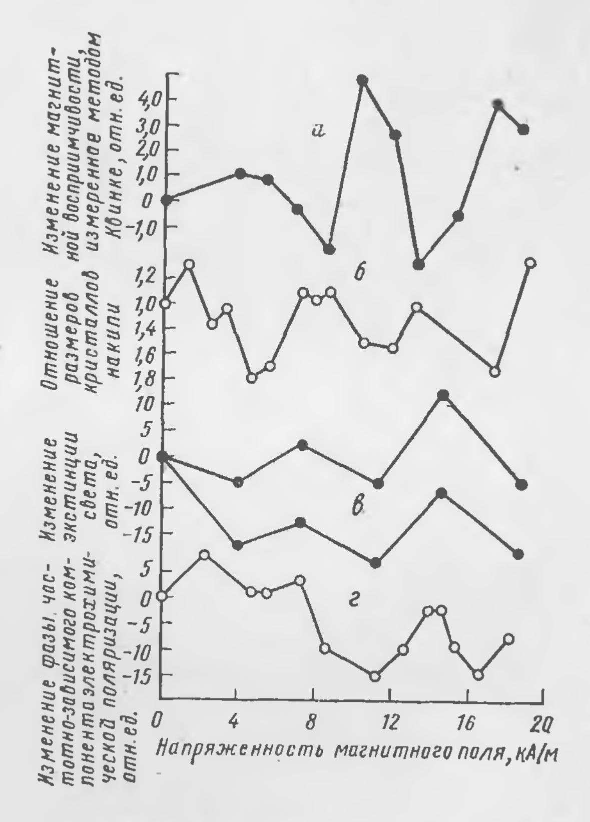


Рис. 53. Оценка изменения физико-химических свойств воды после обработки по изменению:

а — диамагнитной восприимчивости; *б* — размеров кристаллов накипи; *в* — экстинкции света; *г* — частотно-зависимого компонента электрохимической поляризации.

Некоторые предварительные опыты были проведены в нашей лаборатории Б. С. Ксенофонтовым. Магнитной обработке (при различных режимах) подвергали суспен-

зию фосфоритной руды. Пробы брали перед пропусканием воды через промышленный аппарат АМО и после него. Производительность аппарата составляла 250 м³/ч. Измеряли скорость оседания и фильтрования суспензии, в фильтрате измеряли электрофоретический перенос белков. Опыты показали очень хорошую корреляцию экстремальных точек (рис. 54).



Рис. 54. Сопоставление изменений свойств водной системы (суспензии фосфоритной руды) до и после магнитной обработки по скорости: 1 — фильтрования; 2 — оседания и 3 — электрофоретического переноса белков

Таким образом, пока можно считать, что между отдельными тестами существует определенная корреляция. Но этот вопрос подлежит дальнейшему исследованию.

При нынешней разработанности методов индикации магнитной обработки водных систем для практических целей лучше всего применять адекватные методы, моделирующие данный технологический процесс. Например, при регулировании промышленных аппаратов, установленных перед фильтрами, нужно одновременно отбирать пробы пульпы перед аппаратом и после него и в лабораторных воронках оценивать скорость фильтрования. Следует опытным путем подбирать напряженность поля, при которой достигается наибольшее увеличение скорости фильтрования. Точно также необходимо регулировать аппараты, установленные перед сгустителями; скорость оседания целесообразно определять в цилиндрах (лучше — в нефелометрах). Аппараты, установленные перед паровыми котлами, нужно регулировать по скорости выделения солей при кипячении проб воды,

взятых перед поступлением ее в промышленные аппараты и после них.

Весьма перспективным представляется метод индикации магнитной обработки водных систем по скорости изменения pH и электропроводности раствора. При выделении из раствора солей жесткости эти показатели изменяются. Сопоставляя скорость снижения pH и изменения электропроводности, можно определить относительное приращение скорости кристаллизации Δv и по этому приращению можно судить об эффективности магнитной обработки водных систем. Относительное приращение скорости кристаллизации определяется по формуле

$$\Delta v = \frac{\operatorname{tg}\alpha' - \operatorname{tg}\alpha''}{\operatorname{tg}\alpha'} 100\%$$

где α' и α'' — углы наклона линейных участков кинетических кривых кристаллизации в неомагниченной и омагниченной воде (соответственно).

Этот метод значительно усовершенствован К. А. Рубежанским и др. в Северодонецком филиале Государственного научно-исследовательского института азотной промышленности. Процесс был ускорен подщелачиванием растворов едким натром до pH-10. Результаты параллельных опытов, имеющих 95%-ную воспроизводимость, таковы:

а) относительное приращение скорости кристаллизации Δv, установленное с помощью pH-метрии при скоростях потока раствора в магнитном аппарате 16,6; 8,3; 4,15 и 1,38 см/с, составило соответственно 236, 412, 565 и 308%;

б) относительное приращение скорости, найденное кондуктометрическим методом при тех скоростях потока, составило 221, 433, 586 и 1007%.

ГЛАВА V

ПРАКТИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОМАГНИЧИВАНИЯ ВОДНЫХ СИСТЕМ

Известно много убедительных примеров эффективного применения омагничивания водных систем в различных отраслях промышленности: химической, горной, металлургической, строительных материалов, а также в сельском хозяйстве и медицине. Столь широкое применение этого метода иногда даже рассматривается как «довод» против достоверности публикуемых результатов. Между тем, главной причиной разнообразия областей применения омагниченной воды является ее важная, активная роль и беспрецедентно широкая распространенность воды в промышленных и биологических процессах.

В основе практического использования магнитной обработки водных систем, естественно, лежат описанные выше изменения физико-химических свойств гомогенных и гетерогенных водных систем после обработки. С этих позиций можно объяснить почти все практические результаты. В свою очередь практика подтверждает изменение физико-химических свойств водных систем после такой обработки, что приводит к улучшению показателей технологических и биологических процессов.

В этой главе приведены примеры практического применения магнитной обработки водных систем, прошедшей в большинстве случаев промышленную апробацию или постоянно используемой в промышленности с официально подтвержденным, весьма значительным экономическим эффектом. Но ряд вопросов практического использования магнитной обработки водных систем исследован пока лишь в лабораторных условиях.

Область возможного применения омагничивания водных систем пока обозначена лишь в первом приближении и, несомненно, может быть значительно расширена.

1. ПРОИЗВОДСТВО БЕТОНА, ИЗДЕЛИЙ НА ОСНОВЕ ЦЕМЕНТА И ДРУГИХ ВЯЖУЩИХ ВЕЩЕСТВ

Твердение цементного камня

В нашей стране стали применять омагниченную воду для затвердения цемента и бетона в 1962 г.*. С тех пор в этом направлении проведены значительные (хотя и недостаточно систематические) исследования, позволившие выявить перспективность метода.

Известно, что в процессе твердения цементного камня одновременно протекает ряд сложных процессов: растворение и гидратация цементных минералов с образованием пересыщенных растворов, самопроизвольное диспергирование этих минералов до частиц коллоидных размеров, образование тиксотропных коагуляционных структур и, наконец, возникновение, рост и упрочнение кристаллизационных структур. Как показано в гл. II, омагничивание воды влияет на все эти процессы. Следовательно, влияние магнитной обработки воды, используемой для растворения, на твердение и свойства цементного камня является вполне закономерным.

Наиболее последовательно этот вопрос экспериментально изучен В. А. Улазовским и С. А. Ананьиной [133]. Они проводили опыты в аппарате трансформаторного типа. Магнитной обработке подвергали волжскую воду с общей жесткостью 9,5 мг-экв/л и карбонатной 5,46 мг-экв/л, содержащую 72,9 мг/л окиси кальция, 18 мг/л окиси магния, 52 мг/л хлоридов, 64 мг/л сульфатов и 11,7 мг/л кислорода. В исследованиях использован портландцемент М 400 Вольского и Серебряковского заводов, из которого приготовляли кубики (2×2×2 см) и балочки. Затем эти образцы подвергали физико-механическим испытаниям. Их обломки направляли на химический, микроскопический и рентгенографический анализ; структуру и состав гидратных новообразований исследовали в разбавленных цементных суспензиях.

Опытами установлено, что затворение цемента омагниченной водой приводит к значительному повышению прочности камня. Причем зависимость прочности от на-

* *Нейман Б. А.* Авт. свид. СССР № 237664, 1962.

пряженности поля имеет экстремальный характер. Увеличение прочности зависит также от скорости потока воды (рис. 55). Влияние магнитной обработки воды, предназначенной для затворения цемента, на прочность

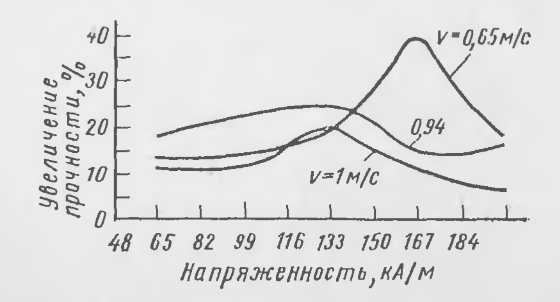


Рис. 55. Повышение прочности цементного камня при разных режимах магнитной обработки и различной скорости потока воды, предназначенной для затворения цемента.

камня при его длительном хранении в обычных температурно-влажностных условиях иллюстрируется кривыми на рис. 56. Данные рис. 56 свидетельствуют также о значительном ускорении твердения и увеличении ко-

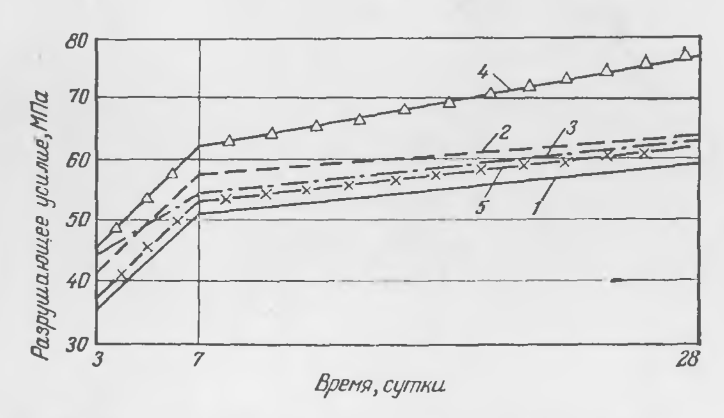


Рис. 56. Влияние омагничивания воды на рост прочности цементного камня:

1 — без магнитной обработки; *2—5* — после магнитной обработки воды при напряженности 117, 127, 139 и 167 кА/м (1480, 1600, 1760 и 2100 Э).

нечной твердости. Это обусловлено ускорением нарастания пластической прочности камня, равной предельному напряжению сдвига, рассчитанному по глубине погружения металлического конуса в цементное тесто (рис. 57).

При затворении обычной водой имеется значительный индукционный период выкристаллизовывания цемента; в случае же затворения омагниченной водой пластическая прочность начинает активно расти почти сразу же после затворения. При этом отмечено более быстрое диспергирование частиц до микронных размеров.

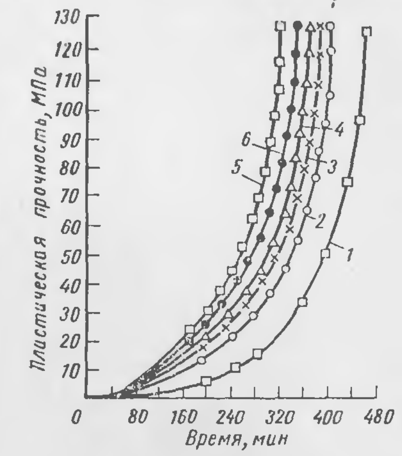


Рис. 57. Влияние омагничивания воды на рост пластической прочности цементного камня:

1 — без магнитной обработки воды; *2—5* — после обработки полями напряженностью 83, 117, 141 и 178 кА/м (1050, 1480, 1760 и 2250 Э).

Для изучения скорости гидратации цемента воспользовались методикой Ю. М. Бутта. Количество химически связанной воды определяли прокаливанием при 1000 °С, количество гидроокиси кальция — фенолятным методом. Результаты опытов показали, что при использовании омагниченной воды цемент гидратируется значительно в большей степени (рис. 58), чем при использовании обычной воды, что способствует получению более плотной структуры камня. В омагниченной воде скорость образования осадка суспензии цемента значительно выше, чем в обычной воде. Микроскопические исследования также показали увеличение скорости гидратации в омагниченной воде. При этом значительно возрастает количество кристаллов сульфоалюмината кальция и гидроокиси кальция, а размеры их уменьшаются. Кристаллы находятся не только на поверхности зерен, как обычно, но и в объеме воды. Исследование цементного камня трехдневного возраста под электронным микроскопом показало, что в

омагниченной воде структура камня гораздо более мелкозернистая (рис. 59).

Все указанные изменения цементного камня значительно влияют на его физико-механические свойства. Водостойкость, морозоустойчивость и химическая стойкость камня, изготовленного с применением омагниченной воды, значительно возрастают.

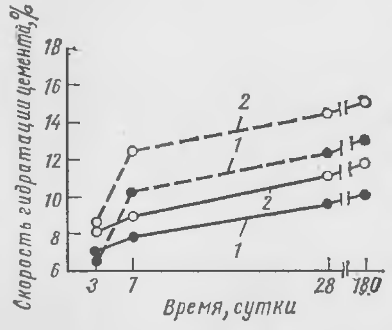


Рис. 58. Скорость гидратации цемента (сплошные линии — количество гидратной воды; штриховые — количество гидрата окиси кальция):

1 — контрольные образцы; *2* — образцы, приготовленные на омагниченной воде

Описанные результаты влияния магнитной обработки воды, используемой для затворения, на процессы твердения цементного камня и его свойства совпадают с результатами исследований многих других авторов. Так, О. М. Мчедлов-Петросян, А. Н. Плугин и А. В. Ушеров-Маршак установили аналогичные закономерности твердения гипса [19, с. 187—189]. Близкие результаты получены с помощью электронного микроскопа Г. Д. Урываевой и М. И. Татаринцевой [19, с. 177—180], которые отмечают значительное увеличение степени упорядоченности кристаллических новообразований в омагниченной воде.





Рис. 59. Структура цементного камня трехдневного возраста под электронным микроскопом (×10000):

а — затворение обычной водой; *б* — затворение омагниченной водой

В. А. Улазовский и В. А. Ананьина показали, что эффект магнитной обработки воды зависит от ее химического состава. Примеси ионов железа и хлоридов чаще всего оказывают положительное влияние; некоторые газы (остаточный хлор, аммиак) — отрицательное [19, с. 205—207]. Большую роль играют соли жесткости. Эти работы, по-видимому, являются началом дальнейших важных исследований.

Следует отметить некоторые опыты, касающиеся пластификации бетона, которая зависит от свойств цементного клея. Поскольку магнитная обработка влияет прежде всего на его свойства, в первую очередь должна изменяться степень пластификации бетона. Во многих работах, из которых следует выделить работу Д. И. Михановского, Я. Л. Арадовского и Э. Л. Леус [134], это показано достаточно убедительно. Межотраслевая комиссия, проведя в 1970 г. экспериментальную проверку, установила, что применение омагниченной воды позволяет снизить вибровязкость керамзитобетона. В подвижных смесях этот эффект не установлен.

Заслуживают большого внимания последние данные А. В. Ларина, С. Б. Трусова и Р. Д Азелицкой, которые свидетельствуют о возможности значительной стабилизации положительного действия магнитной обработки воды при производстве бетона. Исходя из гипотезы о полезности образования коллоидных структур, авторы оптимизировали концентрацию в технической воде сульфатов магния и кальция, а также хлористого магния (соответственно 1,2, 1,2 и 2,8 г/л). В этом случае всегда достигают хороших результатов [135].

Твердение гипса и других вяжущих

Результаты, полученные при изучении влияния магнитной обработки на твердение гипса, мало отличаются от аналогичных результатов для цемента.

О. П. Мчедлов-Петросян, А. Н. Плугина и А. В. Ушеров-Маршак методом дифференциальной калориметрии измеряли скорость твердения полуводного гипса ($CaSO_4 \cdot 0{,}5H_2O$). Они отмечают ускорение образования центров кристаллизации после магнитной обработки воды, содержащей следы двухвалентного железа; однако его концентрация не должна превышать 0,6 мг/л. Ли-

нейная скорость роста кристаллов не изменяется. В итоге возникает более мелкокристаллическая структура [19, с. 187—188]. Это же подтверждено Ю. А. Качаловым и В. Г. Быховым [19, с. 211—212].

А. Т. Логвиненко и М. А. Савинкина проводили опыты с различными образцами полуводного гипса, золой уноса и шлаком. В обрабатываемой воде присутствовало двухвалентное железо (0,3—0,5 мг/л). Их опыты показали, что магнитная обработка воды, как правило, приводит к росту прочности образцов; для гипса наблюдается возрастание прочности во времени. Результаты исследования под электронным микроскопом показали, что в омагниченной воде образуются мелкокристаллические структуры, число мелких кристаллов значительно больше, чем в обычной воде [19, с. 180—185], что обусловливает высокопрочностные характеристики материала [12, с. 223].

Отмечено значительное влияние магнитной обработки воды на процесс гашения извести. Варьируя режим магнитной обработки, можно повысить прочность газосиликатных образцов на 23% [12, с. 232].

Производство бетона

При использовании омагниченной воды для затворения бетона прочность его возрастает на 10—25%, расход цемента уменьшается, а подвижность бетонной массы возрастает. Приведем краткие результаты, полученные различными авторами.

Г. К. Ярошинский, Ю. Г. Хохлова и С. Г. Покай, проводившие исследования в лабораторных и промышленных (на Власовском заводе железобетонных конструкций) условиях, показали, что прочность бетона возрастает на 15—20%. Результаты стабильны [12, с. 224—227]. И. Л. Повх, В. Б. Совпель и Н. А. Бычин отметили повышение прочности даже на 43%, но результаты были неустойчивыми [12, с. 228]. А. И. Бережной и П. Я. Зельцер опытами в промышленных условиях установили уменьшение газопроницаемости бетона [12, с. 237]. О. П. Мчедлов-Петросян с соавторами, изменяя напряженность магнитного поля, увеличивали и уменьшали прочность бетона [19, с. 189]. В. Е. Зеленков, К. К. Кульсартов, Л. А. Мухина и Ю. К. Чернов проверили в промышленных условиях и внедрили в промышленность затворение омагниченной водой бетона, применяемого для закладки горных выработок. Прочность бетона возросла с 3,10 до 3,75 МПа (т. е. на 20%), транспортабельность — на 18%. Это позволяет получить дополнительный прирост прочности за счет уменьшения водоцементного отношения. При этом закладочная масса твердеет скорее и для приобретения ею контрольной прочности требуется вдвое меньше времени. Этот метод постоянно применяют на Текелийском руднике Министерства цветной металлургии Каз. ССР [19, с. 199—203]. В. Н. Петухов получил такие же результаты на Зыряновском руднике. Установлена возможность снижения расхода цемента на 50 кг/м³ закладки [136].

Развернутое исследование влияния омагничивания воды затворения на плотность и морозостойкость гидротехнического бетона проведено Ю. И. Шипиловым, который установил, что в этом случае уменьшается водоцементное отношение бетона, улучшается его структура (уменьшается объем контракционных и капиллярных пор), что уменьшает водопроницаемость бетона. Все это значительно повышает морозостойкость бетона — более чем на 100 циклов замораживания — оттаивания. На

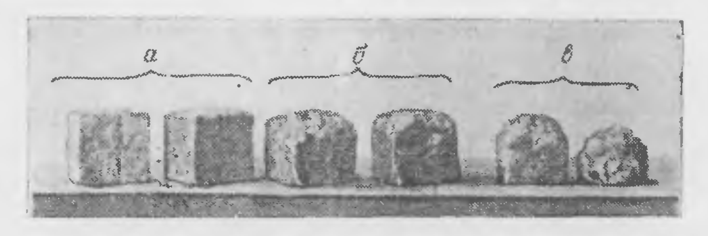


Рис. 60. Образцы бетона после многократного замораживания и размораживания:

а — с применением омагниченной воды и уменьшением ее количества до равнозначной удобоукладываемости; *б* — с применением омагниченной воды; *в* — на обычной воде.

рис. 60 показаны образцы бетона (расход портландцемента М 400 210 кг/м³) после 265 циклов замораживания — оттаивания. Образцы, затворенные на омагниченной воде с добавкой сульфитспиртовой барды (ССБ), выдерживают более 1000 циклов замораживания — оттаивания.

Значительный интерес представляют данные, приведенные в монографии Н. Н. Круглицкого с соавторами [137], в которой говорится о возможности усиления эффекта, создаваемого магнитной обработкой воды, последующей вибрацией бетона. Испытания, проведенные на Киевском заводе железобетонных изделий № 5 с образцами бетона различного состава, показали, что при оптимальном вибрационном воздействии прочность бетона возрастает.

На Волгоградском заводе напорных труб, начиная с 1974 г., ведется постоянная обработка воды, поступающей на затворение цемента; при этом его расход снизился на 8—20% и значительно улучшились свойства (жесткость бетонной смеси снижается на 5—15%, плотность возрастает на 6—12%, водопоглощение снижается на 12—26% [19, с. 209—210]). На комбинате «Кривбассшахтопроходка» применение такой воды позволило увеличить прочность бетонной крепи горных выработок на 25—30% при сокращении расхода цемента на 5—8% [19, с. 222—223]. Внедрение магнитной обработки воды на небольшом Шапсугском заводе железобетонных изделий привело к повышению прочности бетона на 40%, т. е. ежегодно сохраняется 400 т цемента (около 15%). Б. С. Баталин и Ю. П. Ожигбесов установили, что магнитная обработка воды в производстве керамзитопенобетона дала возможность на 15% сократить расход канифоли. Магнитную обработку воды с успехом применяют на Минском домостроительном комбинате № 1 с 1972 г., на Фаниопольском заводе мостовых конструкций (с 1969 г.), в СУ-818 Главдорстроя (с 1972 г.). С. В. и В. С. Поляковы (Казанский инженерно-строительный институт) экспериментально подтвердили повышение прочности и морозостойкости бетона, более быстрое его твердение и наличие пластификации при использовании омагниченной воды для затворения. Повышение прочности на 15—20% и эффект пластификации установлены также и В. М. Челноковой [138].

Магнитная обработка морской воды на заводе железобетонных изделий треста «Азморнефтестрой» позволила повысить прочность бетона на 40—50% и сократить расход цемента на 14% [139]. В. И. Батюшко показал, что прочность железобетонных изделий возрастает на 20—36% при добавлении в воду перед магнитной обработкой хлористого калия, ССБ или хлористого железа. В. А. Улазовский отметил, что во многих случаях эффект магнитной обработки воды, поступающей на затворение, усиливается, если бетон подвергнуть тепловой обработке. Это подтверждено и другими исследователями.

В институте НИИЖБ (Москва) в 1971 г. и 1974 г. были проведены специальные конференции, посвященные проблеме применения омагниченной воды в технологии бетона.

В 1971 г. в решении конференции было отмечено, что «к настоящему времени накоплен некоторый производственный опыт. Так, на Ташкентском домостроительном комбинате № 1 при производстве 54 тыс. м^3 бетона была получена экономия 2160 т цемента. За счет внедрения магнитной обработки бетонной смеси в бетоносмесителях на Пермском заводе железобетонных изделий в 1969 г. достигнута экономия 800 т цемента».

В решении конференции 1974 г. говорится о том, что «практическое внедрение магнито-обработанной воды для затворения бетона осуществляется на Саратовгэсстрое, Главприволжскстрое, Минском ДСК-1, Пермском ЖБК-1, в тресте «Туймазанефтестрой» и в других организациях. В ряде случаев это сочетается с другими технологическими приемами (с разными добавками и т. п.) ...В соответствии с решением первого совещания, Ташкентским ЗНИИЭПом, трестом «Оргтехстрой» и НИИЖБом были поставлены в Ташкенте и Москве показательные эксперименты, «...установившие эффект пластификации бетонных смесей жесткостью свыше 30 с при их вибрировании. Этот эффект был в дальнейшем подтвержден другими организациями».

Приведенные сведения свидетельствуют с большой перспективности применения магнитной обработки воды в производстве бетона. В отдельных случаях ожидаемый эффект не был достигнут, а начатое промышленное применение омагниченной воды было прекращено. Совершенно очевидно, что это явилось следствием определенной недоработанности вопроса.

Производство изделий с применением других вяжущих

Имеются разнообразные сведения об эффективности магнитной обработки воды и водных растворов в про-

изводстве изделий, получаемых на основе золы и шлака (табл. 16) [19, с. 182].

Улучшение твердения закладки горных выработок смесью гранулированного доменного шлака с песком и

Таблица 16. **Влияние магнитной обработки воды и 3%-ного раствора соляной кислоты на прочность изделий, изготовленных на основе золы и шлака (числитель — без обработки, знаменатель — после магнитной обработки)**

Вяжущий материал	Затворитель	Предел прочности при сжатии, МПа	
		влажно-воздушное твердение, через 28 суток	после автоклавной обработки
Зола	Вода	3,8/8,5	—
	3%-ный раствор HCl	20,2/28,4	21,9/31,9
Зола + шлак (1:1)	Вода	3,3/6,2	
	3%-ный раствор HCl	20/28,3	25,9/63,5
Зола + полуводный гипс (4:1)	Вода	7,5/16,6	20,6/40,5
	3%-ный раствор HCl	21,1/30,9	40,2/47,3

водой отметили Г. М. Малахов, Г. Т. Фаустов, П. И. Федоренко и Н. В. Гуревский [140]. В обычных условиях через 3 месяца эта закладка выдерживает давление 7—8 МПа. После затворения омагниченной водой закладка выдерживает давление 10,2 МПа (т. е. твердость возрастает на 30%). Чтобы достичь такой твердости обычной закладки, нужно на 1/3 увеличить содержание шлака в смеси.

Результаты промышленного испытания магнитной обработки воды в производстве керамических канализационных труб на Щекинском заводе «Кислотоупор» показали увеличение прочности изделий на 34%; метод был принят к внедрению.

А. М. Фарионов и А. Д. Ковтун установили, что магнитная обработка воды дает положительные результаты при получении полимерцементного бетона на основе латекса [19, с. 190—194]. При этом расход дорогого стабилизатора снижается на 20%, повышается скорость твердения смеси и улучшаются ее физико-механические характеристики. Ю. П. Васин и др. показали, что при обработке водного раствора жидкого стекла, смешиваемого затем с маршалитом, значительно повышается прочность оболочек, изготавливаемых из этой смеси [19, с. 195—196].

Экономический эффект

Общий фактический и потенциальный экономический эффект от применения магнитной обработки воды, используемой для затворения, пока еще не установлен. Ориентировочно можно считать, что применение магнитной обработки позволит сократить расход цемента на 10% (т. е. даст стране без существенных затрат 12 млн. т этого дефицитного материала стоимостью 240 млн. руб.). При этом не учитываются другие положительные факторы — улучшение качества изделий, возможность применения менее дефицитных вяжущих веществ.

Пока же можно сообщить отдельные данные об экономической эффективности применения магнитной обработки *:

завод железобетонных изделий треста «Черноморстроя» экономит 1900 т цемента в год или около 40 тыс. руб.;

минимальная годовая экономия на Волгоградском заводе напорных труб составляет 100 тыс. руб.;

годовая экономия от внедрения на Шапсугском заводе этого метода составляет 10 тыс. руб.;

экономия на твердеющей закладке на Текелийском руднике составила 100 тыс. руб. в год;

экономия на небольшом заводе «Кислотоупор» составляет 30 тыс. руб. в год;

при производстве тяжелого бетона на каждые 50 тыс. м³ экономится 15 тыс. руб.;

на небольшом бетонном заводе треста «Азморнефтестрой», производящем ежегодно 23 тыс. м³ бетона, экономия составляет 20 тыс. руб. в год.

Следует отметить, что затраты на внедрение установок окупаются через несколько месяцев и даже недель.

* Эти данные взяты из официальных актов предприятий.

В ряде случаев один затраченный рубль приносит прибыль, исчисляемую несколькими сотнями рублей.

2. УМЕНЬШЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ НАКИПИ И ДРУГИХ ИНКРУСТАЦИЙ

Отложения различных солей на стенках теплоэнергетических и других аппаратов приводят к резкому снижению эффективности их работы и частым остановкам для очистки. Общий механизм отложения накипи и других инкрустаций заключается в возникновении и дальнейшем росте на твердых поверхностях кристаллов веществ, находящихся в растворе. Выделение кристаллов на стенках аппаратов происходит в том случае, если вблизи них находится пересыщенный раствор. Магнитная обработка воды позволяет устранить пересыщение, поскольку выделение растворенных солей провоцируется в объеме воды. Недостаточный отвод тепла часто оказывает влияние и на весь технологический процесс, например приводит к снижению производительности агрегатов синтеза аммиака.

Накипь

Магнитная обработка воды как средство борьбы с накипью получила известность еще в 1945 г. (бельгийский патент № 460560, выданный Т. Вермайрену). Большое число исследований, касающихся применения магнитной обработки в теплоэнергетике, суммированы в работах [12, 30, 32, 34, 19, 60 и 131]. В большинстве случаев магнитная обработка эффективна при определенном солевом составе воды, т. е. воды с определенной кальциевой карбонатной жесткостью. Обработка воды, характеризующейся высокой сульфатной жесткостью, не дает столь хороших результатов. Все факторы, определяющие возможность получения пересыщенных растворов, в частности содержание в воде двуокиси углерода, оказывают влияние на результаты магнитной обработки. При чрезмерно большой концентрации двуокиси углерода эффект магнитной обработки ухудшается.

Большое практическое значение имеет хорошо организованное выведение из водяной системы теплообменных аппаратов тонкодисперсного шлама и кусков накипи, отслаивающихся от стенок при применении омагниченной воды. На первом этапе применения этому не уделялось должного внимания, что едва не скомпрометировало всю проблему.

В основном магнитную обработку применяют для уменьшения степени образования накипи на установках

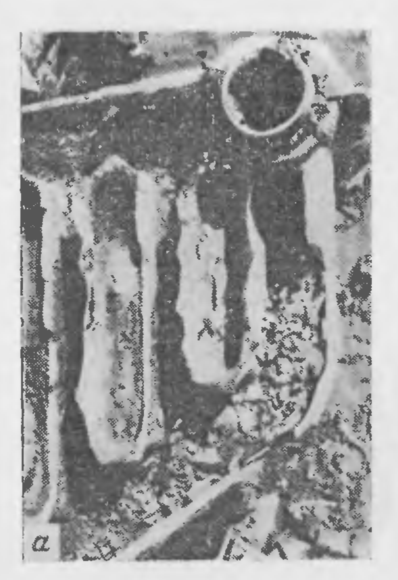




Рис. 61. Образование накипи в секциях водогрейного котла, питаемого обычной (*а*) московской водопроводной водой и омагниченной (*б*).

низкого и среднего давления, а также в теплообменных аппаратах (для обработки добавочной и циркуляционной воды).

При использовании омагниченной воды значительно замедляется образование накипи и улучшается удаление ранее образовавшейся накипи. На рис. 61 приведено характерное состояние секций водогрейных котлов, эксплуатировавшихся одинаковое время в строго одинаковых условиях, но питавшихся обычной водой и омагниченной. Лучшие результаты получаются при использовании воды, содержащей бикарбонат кальция. На рис. 62

показано уменьшение отложения накипи в теплообменниках, питаемых морской водой.

Длительное применение омагничивания воды для борьбы с накипью позволило В. И. Миненко, Е. Ф. Тебенихину и другим сделать следующие обобщения.

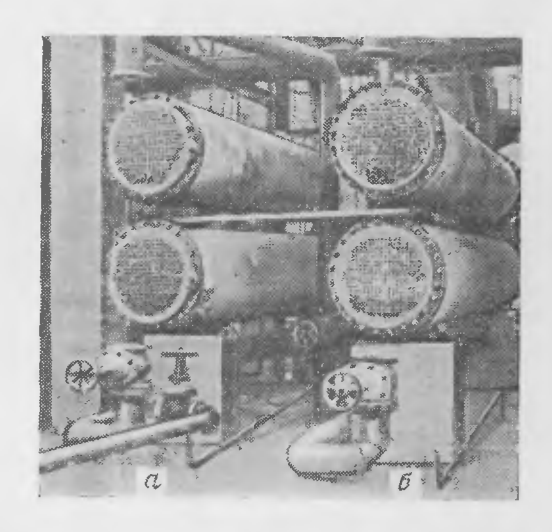


Рис. 62. Уменьшение отложения накипи в теплообменниках, питаемых морской водой:
а — омагниченная; б — обычная.

В прямоточных системах водоснабжения обработке следует подвергать всю воду, а в оборотных — всю подпиточную воду и не менее четверти воды, циркулирующей в системе.

Время между обработкой воды и ее поступлением в теплообменный аппарат должно быть не более 1—4 ч.

Котлы должны быть оборудованы грязевиками или барабанами для сборки шлама и должны регулярно подвергаться продувке для удаления шлама. В каждом частном случае обязательно должна быть осуществлена настройка аппаратов. Желателен постоянный контроль мутности котловой воды. При хорошей обработке вода — мутная, поскольку тонкая взвесь долго не оседает, и жесткость воды несколько снижается. Прозрачность котловой воды свидетельствует о неэффективности обработки. Лучшие результаты получены на газо- и паротрубных котлах всех типов и неэкранированных котлах с грязевиками, отключенными от циркуляционного потока. Менее хорошие результаты получены на неэкранированных котлах с нижним циркуляционным барабаном.

В системах охлаждения образование накипи происходит при температуре выше 30 °С. Это связано с понижением растворимости солей жесткости и интенсивным распадом бикарбонатов при температуре выше 40 °С.

В ряде случаев влияние магнитной обработки на отложение карбонатов значительно уменьшалось в присутствии определенных количеств сульфатов. Например, на Курском кожевенном заводе им. Серегина при соотношении концентраций карбонатов и сульфатов 4 : 1 эффект исчез и был восстановлен при значительном повышении напряженности поля. В. И. Миненко, учитывая относительно высокую энергию гидратации иона SO_4^{2-}, рекомендует для сульфатных вод более высокие напряженности магнитного поля.

При недостаточной циркуляции воды, повышенной тепловой напряженности и сильно развитой поверхности нагрева интенсифицируется вторичное накипеобразование с устранением или уменьшением эффективности магнитной обработки [19, с. 161—162]. В ряде случаев уменьшается коррозия металлов и изменяется состав окисной пленки [19, с. 165].

В табл. 17—19 приведены примеры промышленного применения магнитной обработки воды для устранения накипи [12, 19, 34, 60, 131, 141].

Следует отметить, что общее число применяемых в нашей стране и за рубежом установок для магнитной обработки воды с целью уничтожения накипи составляет сотни тысяч, и в большинстве случаев их применение дает положительные результаты. Так, на Бежицкой ТЭЦ при питании обычной водой в трубах конденсаторов турбин происходило интенсивное отложение карбонатов, поэтому вынуждены были регулярно подвергать их механической очистке и кислотной промывке. После перевода ТЭЦ на питание омагниченной водой в течение нескольких месяцев трубы были очищены от накипи и в дальнейшем оставались чистыми. На ГРЭС № 4 «Харьковэнерго» в течение ряда лет воду подкисляли, однако

Таблица 17. Эффект применения магнитной обработки питательной воды для котлов низкого давления

(1 А/м = 0,0126 Э)

Характеристика котлов			Аппарат для магнитной обработки		Напряженность магнитного поля, кА/м	Жесткость воды, мг-экв/л		Противонакипный эффект, %
тип	давление пара, МПа	производительность, т/ч	тип	производительность, $м^3/ч$		общая	карбонатная	
Шухова — Берлина	0,5	8,0	АЗТМ	25	240	6,1	4,0	80
Ланкаширский	0,2	1,0	«Башэнергонефть» (с постоянным магнитом)	5	500	7,2	4,3	100
Локомобильный	0,5	1,2	То же	5	500	8,5	4,5	100
ВГД-28/8	0,8	0,8	Послойной обработки	5	1190	4,1	1,9	100
Ланкаширский	0,6	1,0	Послойной обработки	5	1190	2,6	1,8	66
ДКВ-2,5-13	1,3	2,5	То же	5	1190	3,6	2,1	0

Таблица 18. Эффект применения магнитной обработки воды для сетей горячего водоснабжения с открытым водоразбором

(1 А/м = 0,0126 Э)

Место применения	Количество добавляемой воды, $м^3/ч$	Аппарат для магнитной обработки			Жесткость воды мг-экв/л		Противонакипный эффект
		тип	производительность, $м^3/ч$	напряженность поля, кА/м	общая	карбонатная	
Саратовская ГРЭС	250—300	ВТИ	50	81	4,3—2,4	2,4—1,5	~100%
Астраханская ТЭЦ	150	Новочеркасского завода	150	121	4,3—2,4	2,4—1,5	~100%
Волгоградская ГРЭС	—	То же	450	121	4,3—2,4	2,4—1,5	Положительный
ТЭЦ-6 Мосэнерго	—	Послойный (завода «Котлоочистка»)	200	99	4,5—3,5	3,7—2,8	»
Бийская ТЭЦ	450	То же	450	99	4,0—1,0	4,0—1,0	»
Омская ТЭЦ-2	1000—1200	»	500	99	2,5—2,0	1,8—1,6	»
Кураховская ГРЭС	50	Новочеркасского завода	50	99	27,2—11,0	3,4—2,7	»
Новочеркасская ГРЭС	—	Новочеркасского завода	—	—	До 8,0	До 3,5	»
Новосибирская ТЭЦ	1000	То же	1000	—	3,8—2,0	3,5—1,8	»

Таблица 19. **Эффект от применения магнитной обработки воды для системы охлаждения конденсаторов**

(1 А/м = 0,0126 Э)

Место применения	Система охлаждения и место установки	Аппарат для магнитной обработки			Жесткость воды, мг-экв/л		Противонакипный эффект
		тип	производительность, м³/ч	напряженность поля, кА/м	общая	карбонатная	
Кураховская ГРЭС	Прямоточная, перед конденсатором турбины	Электромагнитный, многополюсный («Донбассэнерго»)	5000	256	27,2—11,0	3,4—2.7	17%
Бежицкая ТЭЦ	На линии добавочной воды	ВТИ, с электромагнитами	50	81	6,0	4.0	100%
Таганрогская ТЭЦ	На циркуляционной линии	ВТИ, с постоянными магнитами	—	61	29,6	12.4	Умеренно-положительный
Харьковская ГРЭС	На линии добавочной воды (с частичным добавлением оборотной)	Харьковского инженерно-экономического института	200	121	8,0	6,0	В 6 раз увеличен срок между прочистками
Старо-Бешевская ГРЭС	Перед конденсаторами турбины	То же	14400	121	15,6—13,0	6,8—4.3	Положительный

эффект был слабый. После того, как было установлено четыре шестиполюсных электромагнитных аппарата производительностью по 200 м³/ч каждый, через которые пропускали всю подпиточную и часть оборотной воды, время работы котлов без очистки возросло в 5—6 раз и вдвое сократился расход серной кислоты (с 240 до 120 т/год). На Симферопольской ГРЭС применение магнитной обработки позволило уменьшить образование накипи на 70% и легко удалить уже имевшийся слой.

На питание омагниченной водой тепловых сетей с открытым разбором горячей воды были переведены Ростовская ТЭЦ, Саратовская ГРЭС, Астраханская ТЭЦ. На этих станциях удалось полностью устранить образование накипи и таким образом отпала необходимость в систематических кислотных промывках.

Имеется много данных об успешном применении магнитной обработки воды на морских и речных судах. Обработку осуществляют на сотнях котлов с хорошим технологическим эффектом. Пароходы «Немирович-Данченко», «Тунец», «Брест», «Камчатка», «Мурманск» (более пятидесяти) оборудованы шестиполюсными аппаратами конструкции Дальневосточного политехнического института. Иногда напряженность поля не превышает 6,4 кА/м (80 Э). Во всех случаях накипь или совсем не возникает, или отлагается в несколько раз медленнее. Старая накипь разрушается.

На многих шахтах Донецкого бассейна («Украина», № 2-бис, № 5-бис, № 25 им. Артема и др.) после обработки воды накипь в котлах типа ланкаширского снизилась в 5—10 раз.

Установка крупнейшего аппарата конструкции Харьковского инженерно-экономического института (производительностью около 15 тыс. м³/ч) на Старобешевской ГРЭС привела к замедлению и прекращению роста накипи, что сократило число кислотных промывок с 13 в 1970 г. до 6 в 1971 г., 4 — в 1972 и до нуля — в 1973 г. Оказалось достаточным подвергать обработке всего 5% воды, применяемой для охлаждения [19, с. 114—117].

Хорошие результаты получены при применении омагниченной воды в радиаторах автомашин и тракторов. Например, организована централизованная заправка машин омагниченной водой на Людиновском автотранспортном предприятии (г. Москва); на некоторых автома-

шинах установлены индивидуальные магнитики. Большое число аппаратов типа ПМУ применяют в различных теплообменных установках объединения «Сельхозтехника».

Инкрустации в аппаратах, применяемых в нефтяной промышленности

При добыче и транспортировке обводненной нефти происходит интенсивное выделение неорганических солей на стенках труб, что приводит к сокращению межремонтного периода эксплуатации. Д. М. Агаларовым предложен, испытан и внедрен в практику способ уменьшения этих отложений [12, с. 288—296]. В нижнем участке скважин и на выкидных линиях устанавливают круглые постоянные магниты, создающие поля оптимальной напряженности. Накопленные за 1964—1968 гг. данные свидетельствуют о значительном снижении отложений солей на этих участках (рис. 63, табл. 20). В 1970 г. в объединениях «Азнефть» и «Казморнефть» магнитная обработка применялась на 120 скважинах.

В объединении «Казморнефть» после магнитной обработки пластовых вод стало возможным не сбрасывать их,



Рис. 63. Отложения в трубах при добыче обводненной нефти: *а* — с использованием магнитной обработки; *б* — в отсутствие магнитной обработки.

а использовать для технических нужд и возврата в пласты. Таким образом, прекращен забор 3,5 млн. м^3 воды в год из Каспийского моря. Метод магнитной обработки обводненной нефти применим также для уменьшения отложения смол и парафинов на стенках нефтепромыслово-

Таблица 20. **Результаты применения магнитной обработки обводненной нефти в скважинах нефтепромыслов (в 1967—1968 гг.)**

Управление	Число скважин		Средний межремонтный период работы скважин		Экономия труб, м
	всего	с магнитной обработкой	до магнитной обработки	после магнитной обработки	
«Орджоникидзенефть»	39	18	48	87	16300
«Азизбековнефть»	64	25	50	96	3400
«Ленинефть»	72	10	80	92	1580
«Сиазаннефть»	115	23	42	79	2820

го оборудования (хотя для этой цели стенки можно покрывать лаками, эмалями и др.). Как показано впервые в 1960 г. А. И. Тихоновым и В. Я. Мягковым, магнитная обработка позволяет не только уменьшить образование инкрустаций солей жесткости, но и существенно уменьшить образование смолопарафиновых отложений. Результаты исследования этого процесса Я. М. Каганом позволили установить следующее [142]. При воздействии электромагнитного поля на раствор парафина в керосине понижается температура, при которой начинается массовая кристаллизация парафина. Воздействие этих полей на так называемую безводную нефть (в которой очень мало воды) проявляется в том, что интенсивность образования отложений уменьшается на 25—30%, при воздействии на обводненную нефть — примерно на 50%. Чем больше воды в нефти — тем существеннее эффект. При этом возрастают вязкость и электропроводность нефти и снижается поверхностное натяжение, изменяется состав и структура отложений. Вместо твердой трудноразрушаемой массы образуется мазеобразная, легкоразрушаемая масса. Все это свидетельствует о целесообразности применения магнитной обработки для уменьшения отложений смол и парафинов.

Другие отложения

Имеется ряд публикаций, в которых говорится о положительном влиянии магнитной обработки на отложения другого вида. Так, в работе [12, с. 196—197] описаны результаты применения магнитной обработки в производстве натриевой селитры. Образование инкрустаций на стенках выпарных аппаратов уменьшилось, что привело к увеличению теплоотдачи на 2,3% и снижению расходов на их очистку. Аналогичный эффект отмечен в производстве соды [12, с. 201—202]. Уменьшается загипсовывание тарелок приколонков, используемых в производстве аммиака, при этом их пропускная способность возрастает в 4 раза [12, с. 296—298]. В производстве фосфорной кислоты применение магнитной обработки позволило снизить отложения фосфогипса в аппаратуре. Так, на Гомельском химическом заводе при выпарке фосфорной кислоты в углеграфитовых теплообменниках отлагается фосфогипс. Применение магнитной обработки позволило уменьшить эти отложения в 2—4 раза. Обработка сахарного сока и мелассы дала возможность увеличить период между чистками испарителей с 6 до 52 дней [141]. Таким образом, магнитная обработка растворов является действенным средством борьбы с самыми различными инкрустациями.

Экономический эффект

Невысокая стоимость магнитной обработки водных систем (сотые доли копейки на 1 $м^3$) и значительное уменьшение отложений инкрустаций обусловливают большой экономический эффект от ее применения. Экономия только на одном котле составляет примерно 10 тыс. руб. Обработка подпиточной воды системы оборотного водоснабжения на ГРЭС-4 Харьковэнерго позволила сэкономить 18 тыс. руб. в год, на Кураховской ГРЭС 15 тыс. руб. в год; на Ростовской ТЭЦ экономия составляет 20 тыс. руб. в год; на Саратовской ГЭС себестоимость воды снизилась вдвое, а капитальные затраты — на 250 тыс. руб.; годовой экономический эффект на Старобешевской ГРЭС составляет 200 тыс. руб. [19, с. 117]. Простейшие магнитики, установленные в 120 скважинах объединения «Азнефть», приносят 75 тыс. руб. дохода в год и позволяют сэкономить 50 км труб. Обработка пластовой воды в объединении «Казморнефть» позволяет сэкономить 83 тыс. руб. в год. По данным НИИсантехники, экономический эффект для каждого отопительного котла составляет 300—500 руб. в год [141, с. 139]. Годовой эффект от применения магнитной обработки воды, поступающей в котлы Владивостокского порта, составляет 50 тыс. руб. [19, с. 111—114].

По данным Государственного института азотной промышленности, в котором под руководством А. М. Алексеева и П. П. Андреичева осуществляются широкие работы в этой области, при применении омагниченной воды для охлаждения газовых компрессоров стоимость аммиака снижается на 0,3—0,4 руб. Ожидаемый годовой экономический эффект — 10 млн. руб.

Хотя обобщенных сведений об экономической эффективности применения магнитной обработки водных систем еще нет, однако можно полагать, что она составляет десятки млн. руб. в год.

3. ФЛОТАЦИОННОЕ ОБОГАЩЕНИЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Флотационный метод обогащения полезных ископаемых имеет огромное промышленное значение. С его помощью получают все сырье, из которого затем извлекают большинство элементов периодической системы Д. И. Менделеева. Ежегодно в Советском Союзе подвергают флотационному обогащению сотни миллионов тонн руд и углей. В основном технология флотационных фабрик хорошо налажена и стабильна; в некоторых же случаях она неустойчива, что обусловлено колебаниями качества руды и невысокой культурой производства. Эффективность флотации зависит от степени извлечения ценных компонентов в кондиционные концентраты, скорости (производительности) процесса и др. Вследствие огромного масштаба производства малейшее повышение извлечения дает большой технико-экономический эффект.

Флотация основана на избирательном прилипании находящихся в воде мелких частиц определенных минералов к поверхности пузырьков воздуха, зависящем от избирательной химической и физической сорбции на частицах определенных реагентов. Конечной целью этих процессов является избирательное снижение гидратиро-

ванности поверхности частиц, подвергаемых флотации [143]. При этом протекает одновременно ряд сложных физико-химических процессов. Изменение различных физико-химических свойств водных систем после магнитной обработки позволяет предполагать возможность ее воздействия на показатели флотации: смачиваемость (гидратированность) поверхности частиц минералов, сорбцию различных реагентов, растворимость минералов (на ионный состав жидкой фазы флотационной пульпы), коагуляцию или пептизацию частиц.

Возможность использования магнитной обработки технической воды, пульпы и воды, содержащей различные реагенты, для улучшения флотации была открыта в 1965 г. в Советском Союзе [144]*. С тех пор проведено множество исследований, причем объектами обработки являлись вода, пульпа и водные растворы реагентов.

Магнитная обработка воды и пульпы

При магнитной обработке воды и пульпы обычно получаются близкие результаты, однако при обработке пульпы результаты получаются более четкими и стабильными. Возможно, это зависит от постоянства и характера ионного состава жидкой фазы пульпы, находящейся в равновесии с растворенными в той или иной степени в воде минералами. Вообще роль таких «неизбежных» ионов во флотации очень велика, это наиболее четко доказано М. А. Эйгелесом.

Причины улучшения флотации после магнитной обработки воды и пульпы находятся еще в стадии изучения. В первом приближении установлено, что после такой обработки изменяется сорбция минералами флотационных реагентов. Н. Ф. Зубкова и Р. Л. Попов провели опыты с группой минералов (галенитом, сфалеритом, кальцитом и др.), в которых исследовали флотируемость этих минералов и сорбцию ими ксантогената после предварительной обработки суспензий (до подачи в нее реагента [145]). Они получили несколько неожиданные результаты. Флотация сульфидных минералов улучшилась. Однако количество ксантогената, закрепившегося на этих минералах, не только не возросло, но даже уменьшилось. Следовательно, происходит увеличение гидрофобизирующих свойств реагента, находящегося на поверхности минералов. Возможно, это связано с оптимальным переводом ксантогената в диксантогенид с помощью кислорода, количество которого в омагниченной пульпе возрастает. Это подтверждается облегчением десорбции собирателя с минералов в случае омагничивания пульпы (известно, что диксантогенид закрепляется менее прочно, чем хемосорбирующиеся ионы ксантогената).

Ниже рассмотрены результаты, полученные отдельными исследованиями.

В институте «Механобр» О. П. Бондаренко подвергала магнитной обработке техническую воду, подаваемую в операции измельчения и флотации (вариант 1), и пульпу перед контактом с собирателем (вариант 2). Напряженность магнитного поля варьировалась в пределах 600—2700 Э, применялась двенадцатикратная обработка. Опыты показали, что в обоих вариантах обработки значительно возрастает скорость флотации карбонатной марганцевой руды Чиатурского месторождения (табл. 21) [146]. В течение первых 3 мин после обработки в концентрат извлекается в 2—2,4 раза больше марганца, чем при обычном способе. Одновременно повышается и селективность флотации — концентрат полу-

Таблица 21. Влияние магнитной обработки технической воды и пульпы на флотацию карбонатной марганцевой руды

(1 А/м = 0,0126 Э)

Условия обработки	Напряженность поля, кА/м	Время флотации, мин	Концентрат, %: выход	Концентрат, %: содержание марганца	Концентрат, %: суммарное извлечение марганца
Без обработки	0	3	30,0	15,9	31,1
		6	29,1	19,2	69,1
Обработка воды	48	3	44,6	19,3	56,6
		6	30,0	17,8	91,6
	135	3	47,7	19,2	60,8
		6	28,3	17,4	93,5
Обработка пульпы	48	3	50,9	20,2	67,8
		6	24,5	15,3	92,6
	215	3	53,4	20,3	70,0
		6	22,8	15,6	93,6

* Авт. свид. № 173663.

чается значительно богаче марганцем. Суммарное извлечение марганца через 6 мин флотации сильно возрастает — с 70 до 91—93,5%. Несколько лучшие результаты получены после обработки пульпы.

К. Ковачев и Г. Клисуранов [147] провели обстоятельное исследование возможности улучшения флотации медно-молибденовой руды и каменного угля магнитной обработкой технической воды и пульпы. Достигаемый эффект зависит от состава воды, напряженности поля и скорости потока жидкости. Опытами в лабораторных и промышленных условиях (на фабрике «Медет») установлено, что магнитная обработка воды и пульпы приводит к увеличению скорости флотации на 20—30% и значительному повышению извлечения меди и молибдена в концентрат. На фабрике в лучших случаях возрастает извлечение на 2,4%. В лабораторных условиях эта величина несколько выше. Результаты промышленного эксперимента на фабрике «Медет» приведены в табл. 22.

Таблица 22. **Результаты промышленных испытаний магнитной обработки пульпы при флотации медно-молибденовой руды (фабрика «Медет», БНР)**

Показатели	Без магнитной обработки	После магнитной обработки
Переработано руды, т	21890	23900
Извлечение, %		
меди	77,21	79,99
молибдена	78,84	85,79
Прирост извлечения, %		
меди	—	+2,78
молибдена	—	+6,95

П. Илие, И. Поп и Д. Шолози установили, что лучшие результаты получаются при обработке пульпы перед флотацией медно-свинцовых и золотосодержащих руд. Извлечение меди после обработки возрастает с 64 до 79%; извлечение золота увеличивается с 78,0 до 82,2% [148].

Заметное повышение извлечения в концентраты ряда минералов цветных металлов при флотации с помощью ксантогената (свинцово-цинковой руды) и с помощью жирных кислот (окисленной свинцовой руды) после магнитной обработки пульпы отмечено в работе Ч. Александрова, С. Димитровой, Я. Проданова [149], которые проводили опыты в лабораторных условиях, особенно заметен эффект при малых расходах собирателя. Отмечено также значительное колебание результатов.

А. Иозеф, Г. Було, М. Арафа и Б. Фараг изучали в лабораторных условиях влияние магнитной обработки мономинеральных водных суспензий на последующую флотацию. Они установили, что прирост извлечения не зависит от магнитной восприимчивости минерала. Так, флотация ферромагнитного минерала ильменита улучшается в меньшей степени, чем парамагнитного пиролюзита (извлечение последнего возрастает на 30%). Флотируемость кальцита, наоборот, при определенном режиме обработки снижается (это имеет важное значение, так как кальцит должен оставаться в отходах флотации). Отмечено, что действие магнитных полей в некоторых случаях может быть связано с коагуляцией или пептизацией твердых частиц [150].

Магнитная обработка пульпы перед флотацией пирита на Среднеуральской обогатительной фабрике позволила повысить его извлечение на 4,8%; скорость флотации возросла на 14—18%. При этом наблюдалось усиление собирательного действия ксантогенатов. Зависимость этих эффектов от величины напряженности поля имеет полиэкстремальный характер [12, с. 115—117]. Обработка пульпы в аппаратах института «Казмеханобр» на секции Джезказганской фабрики, предназначенной для обогащения окисленных медных руд по комбинированной схеме, позволила повысить извлечение цементной меди на 5% (от операции) [12, с. 121].

Имеются данные исследований магнитной обработки пульпы, проведенных и на других обогатительных фабриках. Так, на Салаирской фабрике В. Ф. Заречнева и Н. Н. Калмыков промышленными опытами установили, что при магнитной обработке пульпы извлечение свинца в грубый концентрат возрастает на 2%. Однако извлечение цинка остается на прежнем уровне. Не получены положительные результаты на Балханской и Кентауской фабриках; лишь временный эффект был достигнут на Алтын-Топканской фабрике. Причины отсутствия эффекта четко не установлены.

Институтом «Казмеханобр» (В. Е. Зеленковым, Ю. П. Черновым и Г. С. Агафоновой) проведены большие работы в области омагничивания пульпы и технической воды на ряде обогатительных фабрик Казахстана с применением аппаратов циклонного типа. Результаты исследований приведены в табл. 23. Следует подчеркнуть, что технологические опыты сочетались с изучением происходящих физико-химических процессов.

Таблица 23. Результаты применения магнитной обработки водных систем на обогатительных фабриках Казахстана

Фабрика	Год промышленного испытания и внедрения	Обрабатываемая система	Увеличение степени извлечения, %	Годовая экономия, тыс. руб.
Текелийская свинцово-цинковая	1968	Растворы ксантогената, медного и цинкового купоросов (8 аппаратов)	0,446 (свинца)	82
Джезказганская медная № 1	1968	Содовый раствор ксантогената (2 аппарата)	0,2 (меди)	20
Джезказганская медная № 2	1968	Пульпа (4 аппарата)	1,5 (цементной меди)	102
Карагайлинская	1970	Техническая вода, раствор ксантогената (2 аппарата)	1 (свинца) и 1 (барита)	31
Майкаинская	1969	Техническая вода и растворы ксантогената и цинкового купороса (3 аппарата)	1,5 (меди) и 2,0 (свинца)	20
Джезказганская медная № 2	1973	Техническая вода (8 аппаратов)	0,22 (меди)	58

В некоторых случаях применение магнитной обработки оборотной воды позволило облегчить решение проблемы оборотного водоснабжения предприятий. Например, на Джезказганской обогатительной фабрике, ранее перерабатывающей только сульфидные медные руды, с пуском секции, перерабатывающей окисленные руды, резко (в 1,5 раза) возросла концентрация в воде солей, что привело к значительному снижению эффективности флотации. Качество оборотной воды удалось несколько улучшить добавками извести, но этого оказалось недостаточно. Лучшие результаты были достигнуты после магнитной обработки известкового раствора и, особенно, пульпы, поступающей на флотацию, с последующим добавлением извести (рис. 64) [151].



Рис. 64. Изменение концентрации солей в жидкой фазе хвостов флотационных машин Джезказганской обогатительной фабрики:

1 — в обычных условиях; *2* — после добавления извести (2,5 кг/т); *3* — после магнитной обработки известкового раствора; *4* — после магнитной обработки пульпы с последующим добавлением извести (2,5 кг/т).

Имеются сведения о том, что магнитная обработка пульпы благотворно влияет не только на флотацию руд, но и на флотацию углей. Г. А. Демин, А. А. Ельников и В. А. Койбаш подвергали обработке полями невысокой напряженности (до 1,6 кА/м или 200 Э) пульпу Пролетарской углеобогатительной фабрики. Они установили возможность существенного (на 6—7%) повышения выхода флотационного концентрата [152]. М. Е. Офенгенден, используя радиометрический метод, показала, что в омагниченной воде сорбция керосина (реагента — собирателя) на угле возрастает [12, с. 158], что интенсифицирует флотацию угля.

Недавно, Б. Б. Конар, К. А. Кинш и Г. Г. Саркар опубликовали результаты опытов флотации угля в омагниченной воде (дистиллированной и водопроводной) и в растворах хлоридов щелочных металлов. Они установили, что наибольший прирост выхода флотационного концентрата (на 7%) без снижения качества концентрата достигается при добавлении к воде хлористого калия, хотя добавление хлоридов натрия, кальция и магния также дает положительный эффект (табл. 24). Максимальный эффект достигается при оптимальной концентрации соли 2—4 г/л (табл. 25) [153].

Таблица 24. Влияние магнитной обработки растворов хлоридов щелочных металлов на флотацию угля

Добавляемый к воде хлорид	После магнитной обработки		Без магнитной обработки	
	выход концентрата, %	зольность концентрата, %	выход концентрата, %	зольность концентрата, %
Натрия	77,2	17,3	73,4	17,1
Калия	78,6	17,0	71,1	17,3
Кальция	77,8	17,4	74,2	17,2
Магния	73,7	17,1	70,5	16,7

Таблица 25. Влияние концентрации раствора хлорида натрия на изменение флотации угля после магнитной обработки раствора

Концентрация раствора, г/л	После магнитной обработки		Без магнитной обработки	
	выход концентрата, %	зольность концентрата, %	выход концентрата, %	зольность концентрата, %
0,8	73,1	17,1	70,0	17,0
2,0	76,9	17,3	71,5	17,2
4,0	78,0	17,4	71,0	16,9
6,0	70,1	16,9	68,2	16,7

Магнитная обработка водных растворов флотационных реагентов

Такую обработку легко осуществить, поскольку объем обрабатываемой жидкости невелик (несколько метров кубических в час). Но опыты показывают, что ее не следует противопоставлять обработке воды и пульпы: можно одновременно обрабатывать и растворы реагентов, и пульпу.

Исследовано влияние применения магнитной обработки на разные реагенты-собиратели и регуляторы флотации. Исследования проводили в основном с ксантогенатами и жирными кислотами, поскольку их применяют для флотации почти всех сульфидных и несульфидных минералов. Из реагентов-регуляторов большее внимание уделялось наиболее универсальному — жидкому стеклу.

М. А. Орел, Л. Б. Волошина, Э. А. Арипов и С. Ш. Розенфельд установили, что после магнитной обработки водного раствора бутилового ксантогената калия некоторые характеристики раствора изменяются. Возрастает удельная вязкость раствора и снижается его электропроводность. Отмечено изменение ИК-спектра: возрастает интенсивность поглощения в области 1041 $см^{-1}$, характеризующей колебания групп C=S в ксантогенате; увеличивается магнитная восприимчивость раствора. По мнению авторов, это является следствием изменения электролитической диссоциации ксантогеновой кислоты и образования димеров типа диксантогенида [12, с. 148—154]. Сведения об изменении электропроводности растворов бутилового ксантогената содержатся в работе А. Н. Гребнева, В. Н. Классена, Л. К. Стефановской и В. П. Жужговой [12, с. 135].

Г. С. Агафонова подробно исследовала влияние магнитной обработки на свойства водного раствора ксантогената в присутствии кальцинированной соды [19, с. 227—229; 154]. Экспериментально установлено, что при добавлении соды (2—4 г/л) эффект магнитной обработки стабилизируется и усиливается. Существует предположение, что при изменении pH раствора изменяется степень диссоциации ксантогеновой кислоты, образующейся в результате гидролиза ксантогенатных ионов. В этих условиях действие магнитных полей заметнее. Это предположение было проверено сравнением электронных (УФ) спектров поглощения растворов ксантогенатов до и после омагничивания. Эти спектры отражают внутримолекулярные взаимодействия, связанные с перераспределением электронной плотности в молекуле. Опыты убедительно показали, что после магнитной обработки значительно (на 7% абс.) возрастает интенсивность поглощения (частота максимума поглощения для группы C=S не меняется). Можно предположить, что после обработки электроны от двух равноценных атомов серы переносятся к одному атому серы в ксантогенате, что увеличивает количество групп C=S в растворе.

Известно, что молекула ксантогената в растворе диссоциирует с образованием ионов двух форм

$$\left[R-O-C\genfrac{}{}{0pt}{}{\overset{S^{--}}{\nearrow}}{\underset{S^{--}}{\searrow}}\right]^{-} \quad (\text{а}) \quad \text{и} \quad \left[R-O-C\genfrac{}{}{0pt}{}{\overset{S}{\nearrow\!\!\nearrow}}{\underset{S^{-}}{\searrow}}\right]^{-} \quad (\text{б})$$

В ионах формы (а), количество которых после омагничивания возрастает, ослаблена связь серы с ядром, поэтому возникает возможность возникновения более сильной связи с металлами минералов, что приводит к усилению собирательных свойств ксантогената.

Прямые определения влияния магнитной обработки раствора этилового этилксантогената с меченой серой S^{35} на сорбцию реагента сульфидным минералом, выполненные радиометрическим методом, показали значительное увеличение степени сорбции ксантогената на пирите (табл. 26). Экстремальные эффекты достигаются при

Таблица 26. Изменение сорбции меченого ксантогената на частицах пирита различной крупности после магнитной обработки раствора ксантогената

(расход последнего 100 г/т), г/т

Класс крупности, мкм	Напряженность магнитного поля, кА/А*				
	0	80	152	207	228
—140+100	17	39	45	—	50
—100+74	23	35	31	—	27
—74+44	36	46	42	—	42
—44+20	28	28	34	47	37

* 1А/м = 0,0126 Э.

определенных напряженностях магнитного поля. Увеличение степени адсорбции (в 2—3 раза) особенно заметно на крупных частицах. На тонких частицах степень адсорбции возрастает в 1,5—1,7 раза [155].

Увеличение сорбции ксантогената на сульфидных минералах после магнитной обработки раствора проявляется также в изменении флокуляции и флотации частиц. Г. А. Агафонова и Г. С. Бергер показали, что после магнитной обработки растворов ксантогената скорость оседания суспензий халькопирита возрастает на 5—8% (эффект проявляется и в присутствии такого мощного флокулянта, как полиакриламид) [154, 156]. Они установили, что при магнитной обработке скорость прилипания единичных зерен минералов к пузырьку воздуха возрастает примерно на один порядок, что обусловлено усилением гидрофобизации поверхности частиц ксантогенатом. Все это создает предпосылки для образования во флотационных машинах аэрофлокул, а аэрофлокулярная флотация, согласно подробным исследованиям Г. С. Бергера, является наиболее эффективной. В присутствии соды скорость флотации возрастает, увеличивается также извлечение минералов в пенные продукты.

Магнитную обработку водных растворов ксантогената в течение ряда лет с успехом применяют на ряде крупных обогатительных фабрик. Например, применение этого метода на Текелийской свинцово-цинковой фабрике (с 1968 г.) позволило увеличить извлечение свинца на 0,44%, а на Джезказганской фабрике № 1 — на 0,2% извлечение меди. На Среднеуральской фабрике внедрение метода дало возможность увеличить извлечение меди на 0,5%.

Влияние магнитной обработки на свойства растворов реагентов-собирателей, применяемых при флотации несульфидных минералов, изучалось на олеате натрия (с карбоксильно полярной группой), гексадецилсульфате натрия и порошке «Новость» (с сульфогруппой).

Опыты А. Н. Гребнева, В. А. Классена, Л. К. Стефановской и В. П. Жужговой показали, что магнитная обработка растворов этих реагентов приводит к изменению их физико-химических свойств [12, с. 140—145]. При определенных напряженностях магнитного поля в омагниченной воде растворимость гексадецилсульфата натрия возрастает на 18%, а порошка «Новость» — в три раза. Обработка водного раствора этого реагента при оптимальном режиме приводит к увеличению электропроводности на 4—7%. При этом оптическая плотность раствора снижается. Эти данные свидетельствуют о том, что магнитная обработка растворов, склонных к мицеллообразованию, так называемых «длинноцепочечных»

собирателей (имеющих относительно длинный углеводородный радикал), приводит к диспергированию мицелл и повышению доли собирателя, находящегося в растворе в ионной форме. Собирательная активность реагентов возрастает.

В описываемой работе не обнаружено изменения характеристик чистой (не растворенной) олеиновой кислоты (ИК-спектра и иодного числа). Опытами М. А. Орла, И. В. Лапатухина, В. И. Классена и др. показано, что при воздействии магнитного поля на твердый аморфный олеат натрия его ИК-спектр также остается без изменения. Однако при омагничивании водного раствора этого реагента заметно изменяются симметричные (1472 $см^{-1}$) и асимметричные (1570 $см^{-1}$) валентные колебания карбоксильной группы, что свидетельствует об усилении связи молекул олеата натрия с водой. Это может приводить к более полной диссоциации олеата натрия. Таким образом, методом ИК-спектроскопии также показано, что магнитная обработка водного раствора собирателя с карбоксильной полярной группой приводит к увеличению количества его флотационно-активного аниона (в данном случае $[C_{17}H_{33}COO]^-$).

Прямыми измерениями показано, что при магнитной обработке водных растворов собирателей с карбоксильной полярной группой их сорбция на поверхности минералов возрастает (табл. 27) [157]. При этом не только увеличивается сорбция собирателя минералами, но и возрастает устойчивость закрепления реагента. Это справедливо, поскольку процесс сопровождается хемосорбцией анионов собирателя. Полученные результаты хорошо согласуются с установленным изменением физико-химических свойств растворов реагентов и суспензий. После контакта с олеатом натрия минералов, находящихся в омагниченной суспензии, снижается теплота их смачивания водой, а также оптическая плотность раствора.

Получены положительные результаты омагничивания и других видов реагентов-собирателей. Так, установлено, что магнитная обработка водной эмульсии поверхностно-активного реагента масла *X* способствует значительному улучшению флотации каменного угля. При этом на 0,7% снижается зольность концентрата и на 1,7% возрастает зольность хвостов. Общая эффективность флотации (по М. В. Циперовичу) возрастает с 708 до 774. Вариабельность эффекта не выходит за пределы 10%, что подтверждает достоверность этих данных, полученных в промышленных условиях [158].

Таблица 27. **Влияние магнитной обработки водных растворов олеата натрия на его сорбцию (г/т) и устойчивость закрепления на минералах**

(1 А/м = 0,0126 Э)

Минерал	Расход олеата натрия, г/т	Напряженность магнитного поля, кА/м				
		0	80	152	207	228
Без отмывки порошка водой						
Алунит	250	186	201	205	211	217
Флюорит	250	205	215	223	218	213
Кальцит	300	143	187	176	161	151
Кварц	500	167	176	191	210	243
Доломит	300	140	194	199	182	180
Фосфат	800	208	290	287	238	230
Фосфат	1000	348	432	434	444	426
После двухкратной отмывки порошка водой						
Алунит	250	165	170	179	175	168
Флюорит	250	116	148	164	164	146
Кальцит	250	60	80	110	125	80
Кварц	500	93	116	152	127	132

Магнитная обработка растворов реагентов-собирателей при флотации несульфидных минералов пока еще не нашла практического применения.

Опыты магнитной обработки растворов реагентов-регуляторов проводили в основном с жидким стеклом (растворимый силикат натрия), являющимся почти универсальным подавителем флотации и регулятором свойств пены. Известно, что флотационные свойства жидкого стекла зависят от степени его полимеризации [143]. Выше (п. 2, гл. II) было рассмотрено влияние магнитной обработки на растворы жидкого стекла.

М. А. Орел с соавторами [157] опытами, проведенными в промышленных условиях, показали, что при магнитной обработке раствора жидкого стекла извлечение

флюорита из силикатной плавиковошпатовой руды возрастает на 2,6% (при этом качество концентрата не ухудшается). Отмечено также улучшение сорбции олеата натрия.

Б. С. Лахтер, М. Т. Цапков, М. А. Орел и П. П. Сивер, проводившие опыты по флотации фосфоритовой руды на Брянском заводе, установили, что магнитная обработка смеси растворов жидкого стекла и мыла позволяет значительно увеличить извлечение фосфата в концентрат [12, с. 155—167]. М. А. Орел, Л. Б. Волошина, Н. В. Кагарлицкая, С. Ш. Розенфельд и Э. А. Арипов, установившие целесообразность применения смеси жидкого стекла с ксантогенатом, отметили, что магнитная обработка такой смеси активирует флотацию [12, с. 148—154]. Г. С. Агафонова и Б. С. Лахтер получили положительные результаты, подвергая магнитной обработке раствор жидкого стекла в присутствии ионов меди или алюминия (вызывающих, по данным В. А. Мокроусова, образование металлосиликатных гелей [143]).

Рядом лабораторных исследований установлена целесообразность магнитной обработки водных растворов других реагентов-регуляторов. В институте «Казмеханобр» проведены опыты с растворами медного и цинкового купороса. Установлено, что при магнитной обработке количество, дисперсность и форма взвесей, возникающих во флотационных системах (п. 2, гл. II), изменяются, и в определенных условиях это может привести к улучшению показателей флотации. Н. В. Кирбитова, В. И. Классен, Н. И. Елисеев и Н. Г. Пирамидина показали, что при обработке водной суспензии галенита скорость флотации значительно возрастает [90].

Н. И. Елисеев, З. А. Оглоблина и В. М. Хоревич установили, что магнитная обработка водных растворов азотнокислого свинца позволяет значительно активировать флотацию кварца с помощью олеата натрия, поскольку изменяются условия образования и осаждения гидроокисей металлов [12, с. 122—126].

Однако, несмотря на отмеченные положительные результаты лабораторных исследований, магнитная обработка водных систем пока не получила должного распространения на флотационных фабриках. Это объясняется рядом причин: неравномерностью технологического процесса, затрудняющего выявление результатов обработки, отсутствием серийно выпускаемых аппаратов и недооценкой метода.

Потенциальный экономический эффект, который может быть достигнут при повсеместном применении магнитной обработки водных систем для улучшения флотации, пока трудно точно определить, но несомненно, он составит несколько десятков миллионов рублей.

4. СГУЩЕНИЕ И ФИЛЬТРОВАНИЕ СУСПЕНЗИЙ

Выделение из воды тонкодисперсных твердых взвесей их коагуляцией и фильтрованием широко применяют во многих технологических процессах — в различных химических и металлургических производствах, при обогащении полезных ископаемых и очистке сточных и оборотных вод. Возможность значительной интенсификации процессов сгущения и фильтрования с помощью магнитной обработки основана на улучшении коагуляции и уменьшении образования инкрустаций, описанных в п. 2, гл. II. При коагуляции взвесей скорость оседания их повышается, при этом возрастает и водопроницаемость кека на фильтрах. С уменьшением забивки пор фильтроткани скорость фильтрации повышается и срок службы ткани увеличивается.

Следует заметить, что применение магнитной обработки для интенсификации сгущения ни в коей мере не противопоставляется использованию для этой цели различных коагулянтов и флокулянтов. Магнитная обработка ценна тем, что к воде можно не добавлять реагенты (часто вредные для последующего использования воды). Кроме того, магнитная обработка бывает выгодна и в сочетании с применением коагулянтов и флокулянтов.

Сгущение суспензий после их омагничивания проверено в промышленных условиях на ряде предприятий.

Первые успешные промышленные испытания были проведены на углеобогатительной фабрике шахты № 38 (в Караганде) [159] с использованием аппарата типа АМО (см. рис. 49). Оптимальная напряженность магнитного поля составила 35,8 кА/м (450 Э), скорость потока 2,0 м/с. Твердая фаза шламов была представлена глинистым материалом, содержавшим 10—15% углистых частиц и немного гипса и кальцита. Количество частиц размером менее 44 мкм составляло 65%. Результаты

магнитной обработки сопоставлялись с результатами, полученными при применении полиакриламида (при большом количестве фракций с частицами, размеры которых составляют микроны, этот флокулянт мало улучшает процесс флокуляции). Данные длительных промышленных испытаний приведены в табл. 28.

Таблица 28. **Результаты промышленных испытаний метода магнитной обработки шламов на углеобогатительной фабрике в Караганде**

Показатели	Без магнитной обработки		После магнитной обработки (без полиакриламида)
	без полиакриламида	с полиакриламидом	
Содержание твердого, г/л:			
в питании	103	108	118
в сливе сгустителя	48	50	5
в сгущенном продукте	169	112	187
Эффективность осветления, %	53,4	54,0	95,5

Аналогичные промышленные испытания были проведены на углеобогатительной фабрике им. Артема [160]. Магнитную обработку осуществляли двумя аппаратами типа АМО производительностью по 250 $м^3/ч$ каждый. Шлам состоял из глинистого сланца (56%) и малозольного угля (42%). Содержание твердого в сливе сгустителей не превышало 50 г/л. Результаты этих испытаний (табл. 29) позволили выявить оптимальную напряженность магнитного поля (31,8 кА/м или 400 Э). Как видно из табл. 28 и 29, после магнитной обработки эффективность сгущения значительно повышается, возрастает степень улавливания тонких фракций, увеличивается плотность осадка и снижается содержание твердого в циркулирующей воде *.

Длительные промышленные испытания аппаратов АМО проведены на Брянском фосфоритном заводе. Цель этих испытаний состояла в том, чтобы снизить потери тонкодисперсного фосфата со сливами радиальных сгустителей. Производительность каждого аппарата АМО составляла 100 $м^3/ч$. Оптимальная напряженность магнитного поля 279 кА/м (3500 Э), скорость потока пульпы 2,5 м/с. Аппараты АМО поочередно устанавливали перед одним из двух сгустителей диаметром 15 м каждый. Результаты испытаний приведены в табл. 30 [19, стр. 232—234].

Таблица 29. **Результаты промышленных испытаний метода магнитной обработки шламов углеобогатительной фабрики им. Артема (Донбасс)**

Продукт	Без магнитной обработки		После магнитной обработки	
	содержание твердого, г/л	количество частиц размером менее 74 мкм, %	содержание твердого, г/л	количество частиц размером менее 74 мкм, %
Питание сгустителя	206	42,2	142	52,0
Слив сгустителя	134	60,1	47	38,5
Сгущенный продукт	836	5,7	961	10,5
Эффективность сгущения, %	35	—	67	—

Таблица 30. **Результаты магнитной обработки фосфоритовой пульпы перед сгустителями на Брянской обогатительной фабрике**

Продукт	Без магнитной обработки		С магнитной обработкой	
	содержание твердого, %	количество частиц размером менее 53 мкм, %	содержание твердого, %	количество частиц размером менее 53 мкм, %
Питание сгустителя	25,9	49,3	25,9	46,3
Слив сгустителя	5,04	98,1	3,06	98,2
Сгущенный продукт	42,02	44,2	45,8	47,9

На рис. 65 приведены данные, показывающие динамику снижения потерь фосфата на Брянском фосфатном заводе, где в течение трех лет постоянно работают пять аппаратов типа АМО. Ежегодный доход от применения магнитной обработки составляет около 40 тыс. руб.

* Несмотря на положительные результаты, магнитная обработка шламов перед сгущением не получила пока должного распространения на предприятиях угольной промышленности.

Положительные результаты магнитной обработки пульпы отмечены во многих исследованиях — при сгущении: меловых вод гидровскрыши на Курской магнитной аномалии, пиритного флотационного концентрата (с

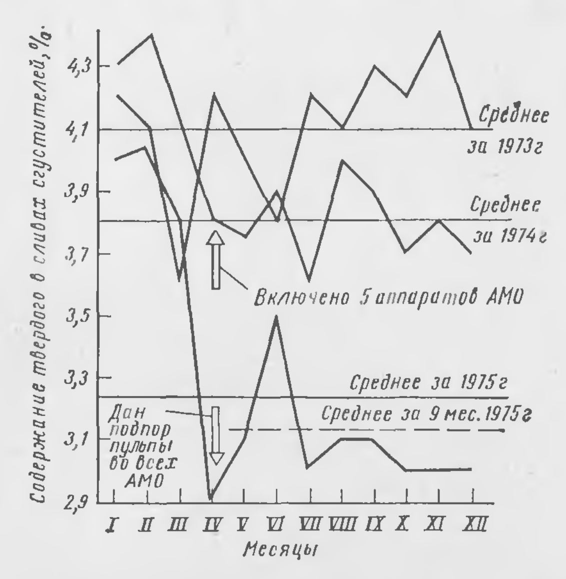


Рис. 65. Снижение потерь тонкодисперсного фосфата со сливами после магнитной обработки питания сгустителей.

увеличением скорости оседания в 2—1,6 раза) [19, стр. 230—232], шламовых вод систем мокрого пылеулавливания [19, стр. 130—133]. На никелевых заводах Кубы многие годы применяют аппараты фирмы «Эпюро» для повышения плотности сгущенного продукта. Д. Оценек (Югославия) получил хорошие результаты при использовании магнитной обработки в процессе сгущения каолина [92].

А. Н. Куценко проводил опыты с глино-песчаными суспензиями с частицами размером менее 10 мкм. Он установил, что после магнитной обработки скорость оседания частиц возрастает в 1,5—2 раза [161]. Ю. Н. Водяницкий и Е. Ф. Мосьяков также исследовали различные суспензии глин и суглинков. Особое внимание они уделяли изучению свойств получаемых осадков. «Выявлена возможность регулирования прочности намывного глинистого грунта кратковременным воздействием магнитных полей на пульпу в процессе ее движения по трубопроводу. Производственные исследования, проведенные при намыве гидроотвала в Нагатинской пойме р. Москвы показали упрочнение в 1,5—2,0 раза...» [162]. Наконец, Л. И. Шахов, Л. В. Ширяев и С. С. Душкин с успехом применили магнитную обработку для осветления воды р. Сев. Донец, питающей харьковскую водопроводную сеть [94, 163].

Суммируя результаты, достигнутые в области сгущения, следует отметить, что они не всегда однозначны. Некоторые суспензии не реагируют заметно на магнитную обработку. Причины этого не вполне ясны. По-видимому, это связано с зарядом частиц, ионным составом жидкой фазы и др. (см. п. 3, гл. III).

Возможность применения магнитной обработки для улучшения показателей фильтрования впервые была установлена С. И. Полькиным и Л. И. Рафиенко [164], которые показали перспективность развития этого направления.

В. С. Каминский, В. И. Классен, М. А. Соколова и К. И. Сафронова в полупромышленных и промышленных условиях (на Пролетарской и Чумаковской углеобогатительных фабриках) подвергли магнитной обработке растворы флокулянтов, что позволило повысить производительность вакуум-фильтров на 9—10% [12, с. 247—251].

В более широком масштабе были проведены промышленные испытания на обогатительной фабрике № 2 комбината «Апатит». Перед барабанными наливными вакуум-фильтрами, в которые поступал сгущенный апатитовый концентрат, были установлены аппараты АМО. Для определения оптимальной напряженности магнитного поля перед аппаратом АМО и после него отбирались пробы неомагниченной и омагниченной пульпы. Скорость фильтрования обеих проб определяли с помощью лабораторного прибора конструкции В. Г. Зерницкого, автоматически фиксирующего массу фильтрата, получаемого в каждую единицу времени. Меняя напряженность магнитного поля аппарата АМО, находили ту оптимальную напряженность, при которой отмечалась наибольшая скорость фильтрования.

В первой серии испытаний сравнивали производительность двух промышленных фильтров, перед одним из которых был установлен аппарат АМО производительностью 50 м³/ч. Во второй серии испытаний сопоставляли работу двух секций, состоящих из шести фильтров каждая; питание одной из секций подвергали магнитной обработке в аппарате АМО производительностью 250 м³/ч. В первой и второй сериях испытаний получены близкие результаты: производительность вакуум-фильтров увеличилась на 9—10% и снизился расход фильтроткани на 12—15%. Ожидаемый годовой экономический эффект для этого предприятия составляет 170 тыс. руб. Однако отсутствие серийно выпускаемых аппаратов АМО (комбинату «Апатит» их требуется около 50 шт.) не позволило установить их перед всеми фильтрами.

Хорошие результаты получены на Брянском фосфоритном заводе, где магнитной обработке подвергали питание промышленного сгустителя, что позволило увеличить скорость последующего фильтрования сгущенного продукта. Положительные результаты получены также на углеобогатительной фабрике шахты Доубрава (Чехословакия), где на два параллельно работающих дисковых вакуум-фильтра подавали сгущенный угольный флотационный концентрат, подвергнутый магнитной обработке. Площадь фильтрующей поверхности каждого фильтра составляла 40 м². Магнитная обработка питания позволила повысить производительность фильтра на 28,4%.

5. ОЧИСТКА ВОДЫ И ВОЗДУХА ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЙ

Огромное экономическое и экологическое значение очистки воды и воздуха общеизвестно. В большинстве случаев очистка должна осуществляться без добавления специальных реагентов, в свою очередь загрязняющих среду. В этом отношении положительная роль магнитной обработки водных систем может быть очень большой.

Очистка воды от взвесей

Применение магнитной обработки для очистки воды от различных взвесей проверено не только в лабораторных, но и в промышленных условиях. А. И. Шахов, А. В. Ширяев и С. С. Душкин установили, что после магнитной обработки воды г. Харькова и Основинского водохранилища скорость оседания содержащихся в ней тонкодисперсных взвесей увеличивается на 20—90%. При невысокой мутности воды и низкой температуре достаточна напряженность поля всего 2—8 кА/м (25—100 Э) [163]. Такой положительный эффект проявляется и в случае добавления к омагниченной воде коагулянтов — сернокислого железа, сернокислого алюминия и др. При этом наблюдается уменьшение электрокинетического потенциала золей гидроокисей алюминия и др. [163, 165]. При очень высокой мутности воды (выше 500 мг/л) эффект незначителен [86].

А. И. Шахов и А. С. Аветисов исследовали возможность магнитной обработки воды р. Днепр после ее известкования. Они воспользовались аппаратом с электромагнитами, в катушки которых подавали постоянный ток импульсами с частотой 2—6 Гц. Аппарат производительностью 100 м³/ч был установлен на напорном трубопроводе, подающем воду в цех химической очистки воды Днепродзержинской ГРЭС; известкование проводили по обычной для тепловых электростанций схеме. Наибольшее увеличение скорости оседания взвесей достигалось при частоте пульсаций 6 Гц, т. е. эта частота является оптимальной. Положительные результаты получены и при интенсификации отстаивания бытовых сточных вод. Скорость оседания взвесей возросла в 1,4—2,6 раза [12, стр. 252—256].

Очистка промышленных стоков хлорорганического производства химических комбинатов часто затрудняется многокомпонентностью состава сточных вод и высокой дисперсностью примесей. Были проведены опыты по магнитной обработке этих стоков. Исследуемая вода имела общую жесткость 2,8 мг-экв/л, общую щелочность 3,6 мг-экв/л, pH 8,9, общую окисляемость 32,4 мг/л.

В ней содержалось следующее количество примесей, мг/л:

Аммиак	1,6
Железо	2
Окись:	
кальция	61,5
магния	13

Свободный хлор	513
Взвешенные вещества	80
Плотный осадок	1263

Опыты показали, что после магнитной обработки скорость оседания тонкодисперсных частиц, оседавших ранее со скоростью 0,2 мм/с, возросла более чем вдвое. Одновременно отмечено более интенсивное уплотнение получаемого осадка: после магнитной обработки оно завершается через 3 ч, а без нее — лишь через 5 ч [166].

Пример эффективного применения магнитной обработки растворов для улучшения их очистки от ионов цинка приведен в работе [167], в которой отмечается, что осаждение ионов тяжелых цветных металлов известью и природными карбонатами дает эффект лишь 97—98%. Это не позволяет достичь предельно допустимых норм даже для водоемов санитарно-бытового значения. Магнитная же обработка позволяет интенсифицировать этот процесс. Изменяя напряженность поля в пределах 0,8—8 кА/м (10—100 Э), установили, что лучшие результаты получаются при напряженности 4 кА/м (50 Э). В этом случае достаточно 10 с для очистки до санитарных норм не только фильтрованных, но и декантированных растворов. Следует подчеркнуть, что лучшие результаты были получены при начальном осаждении цинка содой, последующей магнитной обработке и затем добавлении известкового молока (коагулянта). В случае осаждения цинка одним известковым молоком магнитная обработка не приносила ощутимой пользы. Это, вероятно, связано с различными условиями кристаллизации гидроокисей и основных углекислых солей цинка.

Ионный обмен

Повышение эффективности очистки воды методами фильтрации и ионного обмена после предварительной магнитной обработки раствора установлено несколькими авторами (влияние такой обработки на ионный обмен описано в п. 2, гл. II). Г. М. Иванова провела эксперимент на Новосибирской ТЭЦ № 3. Омагничиванию подвергалась вода перед поступлением на механический фильтр (диаметром 3 м) и после него перед поступлением ее в натрий-катионитовый фильтр (диаметром 2,5 м). Вода имела жесткость 1,74 мг-экв/л и щелочность 1,75 мг-экв/л, содержание железа составляло 0,75 мг/л; окисляемость 3,01 мг/л O_2. Аппарат для магнитной обработки, состоящий из постоянных магнитов, имел производительность 62 $м^3/ч$, напряженность поля 88 кА/м (1100 Э).

Результаты более 20 фильтроциклов показали, что поглощение $SiO_2 + SiO_3^{2-}$ возросло на 167%, Fe^{3+} — на 329%, органических веществ — на 136%; грязеемкость увеличилась на 344%. При этом поглощение на катионитовом фильтре возросло на 6% [12, с. 258—261].

Н. С. Иванова, Н. А. Сигалова и С. Л. Водовозов проводили опыты с Na-сульфоуглем, катионитом КУ-2 в Н-форме и с анионитами АН-31 и АВ-17. Растворы готовили на дистилляте. Они показали, что после магнитной обработки раствора поглощение магния возрастает, особенно на конечной стадии фильтрования [19, с. 117—119].

В. И. Миненко, К. И. Калиниченко, В. И. Шмигировский и Н. Н. Наконечная сообщили результаты опытов интенсификации очистки воды на Невинномысском химическом комбинате, протекающей по схеме хлорирование→введение извести и коагулянта→осветление→ →фильтрование→катионирование, и на Старобешевской ГРЭС, где очистку ведут по схеме: содово-известковое умягчение→осветление→фильтрование→двухступенчатое катионирование (с применением в качестве фильтрующего материала в первой ступени натрий-сульфоугля и катионита КУ-2 в Н-форме, а во второй ступени — натрий-сульфоугля).

Предварительную регулировку напряженности магнитного поля в электромагнитном аппарате проводили измерением прозрачности воды по кресту.

На Невинномысском химическом комбинате вода имела следующую характеристику:

Общее солесодержание, мг/л	130—270
Железо (общее), мг-экв/л	До 0,4
Двуокись углерода (свободная), мг/л	0,5—35
Ионы, мг-экв/л:	
Ca^{2+}	1,2—2,1
Mg^{2+}	0,3—1,4
Cl^-	15—45
SO_4^{2-}	40—140
Взвешенные вещества, мг/л	До 50

Влияние магнитной обработки воды на ее очистку характеризуется данными табл. 31.

Таблица 31. **Влияние магнитной обработки на очистку воды на Невинномысском химическом комбинате**

Условия обработки	Число фильтроциклов	Средняя производительность Na-фильтров за один фильтроцикл по задержанным солям жесткости, кг	Прирост производительности, %
Без магнитной обработки	73	200,4±19,2	0
Период регулирования обработки	68	223,7±22,8	11,6
При оптимальном режиме обработки	79	259,7±15,4	29,6

При этом прозрачность воды после осветлителей и механических фильтров возросла втрое, а себестоимость очищенной воды снизилась на 20%.

На Старобешевской ГРЭС очистке подвергали воду, подогретую до 40 °С. Вода имела следующую характеристику:

Общее солесодержание, мг/л	1900—2500
Хлор, мг/л	240—300
Двуокись углерода (свободная), мг/л	До 7
Ионы, мг-экв/л:	
Ca^{2+}	8—10
Mg^{2+}	6—8
HCO_3^-	До 300
pH	7—8,5

Магнитной обработке подвергали лишь часть воды. Результаты применения магнитной обработки приведены в табл. 32.

Проведенные промышленные испытания достаточно убедительно показывают, что магнитная обработка дает возможность увеличить производительность ионообменных фильтров на 20—25% [19, с. 120—123].

Таблица 32. **Влияние магнитной обработки на очистку воды на Старобешевской ГРЭС**

Показатели	I ступень				II ступень	
	Na-катионирование		Н-катионирование		Н-катионирование	
	число фильтроциклов	удельная емкость поглощения, г-экв/л	число фильтроциклов	удельная емкость поглощения, г-экв/л	число фильтроциклов	удельная емкость поглощении, г-экв/л
Без магнитной обработки	816	200±5,3	277	820±32,6	251	154,2±9.4
После магнитной обработки	807	223±4,6	161	910,5±35,1	160	163,3±8,3
Эффект обработки, %	—	6,6	—	11,0	—	—

Мокрое улавливание пыли

Очистка воздуха от тонкодисперсной пыли представляет собой одну из важнейших проблем, решение которых связано с ликвидацией профессиональных заболеваний, таких как например, пневмокониоз. Для очистки воздуха от так называемой витающей пыли, размер частиц которой составляет доли микрона, в большинстве случаев применяют орошение водой. В горном деле для предотвращения пылеобразования применяют мокрое бурение шпуров и нагнетание воды в угольные пласты и горные породы. Однако эти методы не позволяют улавливать пыль в такой мере, в какой это требуется. Несколько бóльшая степень улавливания достигается при добавлении к воде поверхностно-активных веществ (мылонафта, ДБ, ОП-7, ОП-10 и др.). В этом случае улавливание пыли возрастает на 30—45%, однако этого недостаточно для достижения санитарных норм.

Наши исследования влияния магнитной обработки технической воды на ее смачивающую способность, особенно на смачивание кварцсодержащих частиц (п. 2, гл. II), послужили основанием для применения этого метода в процессе пылеочистки. В этом направлении проведены опыты А. О. Сагиновым, Г. Е. Пановым и Ю. Д. Обуховым [80], а также А. Р. Соцким, А. В. Говоровым

и В. И. Классеном [168]. Положительные результаты, полученные в лабораторных условиях, были подтверждены опытами, проведенными нами в промышленных условиях.

Для изучения захвата частиц пыли капельками воды воспользовались установкой Л. Б. Таубмана [12, с. 170—173] (рис. 66). В емкость через штуцер вдували пыль, через которую проходило строго одинаковое число капель воды. Омагничивание воды проводили аппаратом ПМУ. Как видно из рис. 67, существует оптимальная скорость потока воды, при которой ее пылеулавливающая способность достигает максимальной величины. Результаты лабораторных опытов приведены в табл. 33. Омагниченная вода гораздо лучше улавливает пыль, особенно породную.

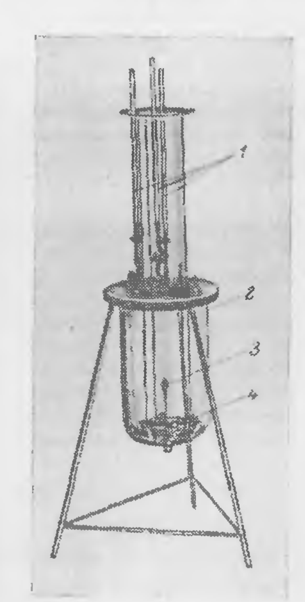


Рис. 66. Установка, моделирующая захват пыли капельками воды:
1 — бюретки с водой; 2 — стеклянная камера; 3 — штуцер для вдувания пыли; 4 — чашечки.

Опыты в промышленных условиях были проведены на шахтах им. В. И. Ленина (выемка угля комбайном КЦТГ) и им. Октябрьской Революции (выемка угля врубовой машиной «Урал-33») комбината «Ростовуголь». Для улавливания пыли были устроены водяные завесы, расположенные в 30 м от лавы. Шахтную воду обрабатывали аппаратами ПМУ. Пробы воздуха брали перед завесой и за ней. Результаты испытаний приведены в табл. 34. Как видно из таблицы, улавливание пыли водой после магнитной обработки (в условиях, близких к оптимальным) улучшается.

Примерно такие же результаты получены в Караганде Н. Ф. Гращенковым, В. В. Сусловым и Ж. У. Галиевым. Обработку шахтной воды они также проводили аппаратами ПМУ. Эффективность орошения воздуха водой оценивали по его запыленности на рабочем месте машиниста узкозахватного комбайна, работающего в 4—5 м от завесы. Результаты опытов показали, что при орошении омагниченной водой остаточная запыленность воздуха в 1,5—2,5 раза меньше, чем при орошении водой обычной (рис. 68). Эти же исследователи установили, что омагниченная вода по сравнению с обычной лучше проникает в уголь из нагнетательных скважин (рис. 69). Предварительное увлажнение угля обычной шахтной водой позволяет уменьшить удельный выход пыли на 82%, а омагниченной водой — на 95%. Результаты промышленных опытов приведены в табл. 35 [19, с. 254].

Таблица 33. **Улавливание пыли (г) водой с добавкой ПАВ или после магнитной обработки (лабораторные опыты)**

Вода	Пыль	
	породная	угольная
Обычная	1,00	1,00
С добавкой 0,1% ДБ	1,66	2,30
С добавкой 0,1% мылонафта	1,87	1,66
Омагниченная	3,28	2,82



Рис. 67. Зависимость пылеулавливающей способности подвергнутой магнитной обработке воды от ее скорости:
1 — угольная пыль; 2 — породная пыль.

Результаты опытов по улавливанию рудной пыли приведены в табл. 36 [168]. Как следует из таблицы, при применении омагниченной воды запыленность воздуха снижается в 2—3 раза.

Таблица 34. **Влияние омагничивания шахтной воды на снижение запыленности воздуха в шахтах Донбасса**

Шахта	Вид воды	Скорость течения воды в аппаратах ПМУ, м/с	Снижение запыленности воздуха при орошении водой, %		Эффект магнитной обработки, % (абс.)
			обычной	омагниченной	
Им. В. И. Ленина, выемка угля комбайном КЦТГ	Водопроводная	0,33	36,3	54,7	+18,4
		0,48	38,2	55,2	+17,0
		0,66	51,0	51,4	+0,4
		0,85	69,9	66,7	—3,2
Им. Октябрьской революции, выемка угля врубовой машиной «Урал-33»	Шахтная	0,33	18,8	33,0	+14,2
		0,48	19,9	40,5	+20,6
		0,66	24,3	57,5	+33,2
		0,85	30,1	46,4	+16,3

Ю. М. Лавров установил, что на флюоритовых рудниках Забайкалья при омагничивании воды эффективность улавливания пыли возрастает на 35—45%. Еще лучшие результаты получены после омагничивания водных растворов полиакриламида: в этом случае эффективность увеличивается на 60—62% [169]. По сообще-

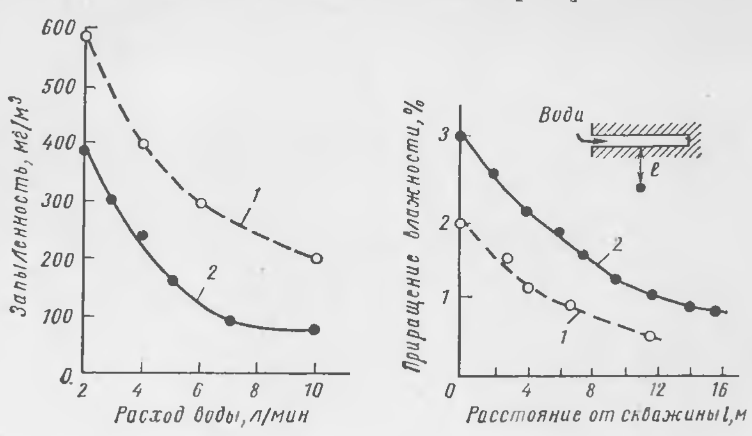


Рис. 68. Изменение запыленности воздуха в шахте после улавливания пыли завесой из обычной (*1*) и омагниченной воды (*2*).

Рис. 69. Изменение приращения влажности в угольном пласте при использовании обычной (*1*) и омагниченной (*2*) воды.

Таблица 35. **Влияние омагничивания шахтной воды, нагнетаемой в уголь, на снижение запыленности воздуха в шахтах Караганды**

Показатели	Вода шахты «Волынская»		Шахта им. Костенко, расход воды 10 л/т		Шахта им. Костенко, расход воды 15 л/т	
	обычная	омагниченная	обычной	омагниченной	обычной	омагниченной
Влажность увлажненного угля, %	3,13	3,84	2,73	3,07	3,02	3,47
Запыленность воздуха в зоне дыхания машиниста комбайна, мг/м³	721	419	371	257	291	226
Снижение запыленности, %	—	42	—	30	—	22

Таблица 36. **Влияние омагничивания воды на улавливание пыли при мокром бурении на рудниках Кривого Рога**

Место обеспыливания	Количество пыли, мг/мин	
	обычная	омагниченная
Рудник им. XX партсъезда		
В штреке	4,4*	2,2*
На выходе из шпура	1,58	0,38
Рудник им. М. В. Фрунзе		
На выходе из шпура	1,75	0,60

* В мг/м³.

нию Читинского филиала ВНИИПрозолото, на одном из рудников применение омагниченной воды позволило не только значительно улучшить условия труда, но и достигнуть годовой экономии 100 тыс. руб. Такие же результаты получены на рудниках «Дарасун» и Шахтаминского рудоуправления.

Л. М. Ягнышева показала, что при применении магнитной обработки воды и раствора полиакриламида эффективность пылеулавливания при буровых, погрузочных и скреперных работах возрастает в 2—2,5 раза [170]. По сообщению института «Унипромедь» (1970 г.),

этот метод внедрен на всех добычных участках, а также для обработки воды, используемой в водяных завесах Дегтярского рудника и, частично, на Пышминском и Гумишевском рудниках.

В. А. Ренко, А. С. Хатунцев и Б. А. Минеев, проводившие опыты на Березовском и Гурьинском месторождениях медных руд, установили, что повышается степень улавливания в основном тонких фракций пыли именно тех минералов, которые наиболее токсичны [171].

Выше речь шла о применении магнитной обработки воды, используемой для очистки воздуха от пыли, в основном, на горных предприятиях. Очевидно, этот метод может быть использован и на других предприятиях, где применяют мокрое пылеулавливание. Так, Э. М. Беляев с соавторами сообщают [12, с. 166], что им удалось снизить на 17% концентрацию пыли в воздушной среде дробильной фабрики Южного горнообогатительного комбината. Имеются первые, весьма положительные сведения о применении этого метода на брикетных фабриках и коксовых заводах в ГДР (концентрация пыли в воздухе снижается, примерно, вдвое).

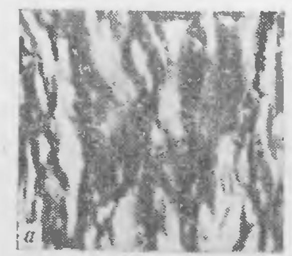
6. ПРОИЗВОДСТВА КЕРАМИКИ, КИРПИЧА, ЛИТЕЙНЫХ ФОРМ

Работами П. А. Ребиндера и многочисленных его последователей установлено, что в процессе термообработки глинистых дисперсий, играющих роль связки во всех рассматриваемых ниже изделиях, происходит последовательное преобразование их структур от коагуляционной в псевдоконденсационную и кристаллизационную. При этом очень многое зависит от начальной коагуляционной структуры, играющей роль своеобразной «матрицы». Применение омагниченной воды, влияющей на коагуляцию глинистых частиц (п. 2, гл. II), должно привести и, как показано ниже, приводит к значительному улучшению свойств готовых изделий.

Производство керамики

Основные работы в этом направлении проведены Л. П. Черняком, И. П. Нестеренко, С. П. Ничипоренко, Н. Н. Круглицким и Р. М. Зайонцом [88, 137, 172, 173], в которых показано, что при применении омагниченной

воды формируются более совершенные псевдо-конденсационные и кристаллизационные структуры дисперсий. После сушки глинистые частицы контактируют преимущественно по базопинакоидальным плоскостям с предпочтительной ориентацией по этим плоскостям, что приводит к уплотнению материала. На обычной же воде



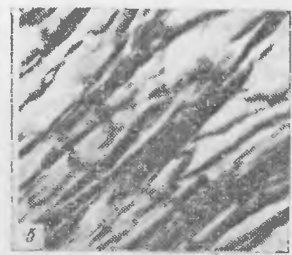


Рис. 70. Электронномикроскопические снимки дисперсий никифоровской глины после сушки (×47 000):
а — суспензии приготовлены на обычной воде; *б* — суспензии приготовлены на омагниченной воде.

глинистые частицы образуют контакты различных типов, без заметной упорядоченности ориентации (рис. 70). После обжига образцов, приготовленных на обычной воде, образуется муллит с недостаточно четкими кристаллографическими очертаниями, в основном игольчатого габитуса (рис. 71, *а*). В образцах, приготовленных на омагниченной воде, возникают более крупные, четко очерченные кристаллы муллита (рис. 71, *б*). Из-





Рис. 71. Электронномикроскопические снимки дисперсий никифоровской глины после обжига (×47000):
а — суспензии приготовлены на обычной воде; *б* — суспензии приготовлены на омагниченной воде.

меняется не только морфология муллита, но и упорядочивается распространение его кристаллов в виде спутанной волокнистой пространственной сетки. Это подтверждено результатами рентгеновской дифрактометрии и петрографического анализа. Отмеченные зависимости проявляются на различных глинах, как не содержащих железо (артемовская глина), так и содержащих его (никифоровская глина).

Указанные эффекты, естественно, приводят к существенному изменению свойств образцов после сушки и обжига (табл. 37). В случае применения омагниченной воды значительно возрастает прочность образцов и их объемная масса; водопоглощение при этом понижается. Четко прослеживается полиэкстремальная зависимость от напряженности магнитного поля. Сильно уменьшается пористость образцов (табл. 38).

Таблица 37. **Влияние магнитной обработки воды затворения на свойства (среднестатистические данные) образцов, приготовленных из артемовской глины**

(1 А/м = 0,0126 Э)

Показатели	Вода обычная	Вода омагниченная при напряженности поля, кА/м							
		6,4	12,8	19,2	25,6	31,8	44,6	51,2	67,4
Предел прочности на изгиб, МПа:									
после сушки	4,64	5,61	5,38	4,89	5,60	5,81	5,68	5,68	4,72
после обжига	28,7	33,5	32,4	29,0	30,1	31,7	36,2	35,6	33,5
Водопоглощение, %	1,3	0,6	0,7	1,5	1,0	0,8	0,8	0,8	1,0
Объемная масса, г/см³:									
после сушки	1,92	1,95	1,97	1,94	1,95	1,96	1,96	1,95	1,95
после обжига	2,17	2,24	2,25	2,20	2,24	2,25	2,26	2,25	2,24

Таким образом, магнитная обработка воды приводит к образованию более совершенных конденсационной и кристаллизационных структур глинистых дисперсий. Повышение совершенства конденсационной структур «...определяется предпочтительной ориентацией по базопинакоидальным плоскостям, ростом количества и площади контактов глинистых частиц, а большая степень совершенства кристаллизационной структуры — морфологическими особенностями и характером распространения в виде спутанно-волокнистой пространственной сетки кристаллов муллита» [137].

Таблица 38. **Влияние магнитной обработки воды затворения на пористость образца**

Пористость, %	Артемовская глина на воде		Никифоровская глина на воде	
	обычной	омагниченной	обычной	омагниченной
Общая	16,5	11,7	9,12	6,35
Закрытая	13,46	9,89	7,40	5,52
Открытая	3,04	1,81	1,72	0,83

Применение омагниченной воды оказывает почти одинаковое влияние на свойства глинистых дисперсий независимо от способов их приготовления и формования. Это было проверено на следующих схемах:

а) шликерная суспензия (влажность 54%)→пластическая масса (влажность 20%)→формование→сушка→обжиг;

б) затворение водой шихтовой смеси сырьевых компонентов перед прессованием изделий (производственный способ);

в) прессование со шликерной подготовкой порошка.

Возможность применения магнитной обработки была проверена в промышленных условиях. Так, на заводе «Кислотоупор» с успехом использовали для производства керамических канализационных труб и кислотоупорных изделий омагниченную воду для затворения шамотизированной смеси артемовской, лукошкинской и латненской глин, являющихся полиминеральными системами, в которых глинистые минералы представлены каолинитом и гидрослюдой (табл. 39).

На свердловском заводе керамических канализационных труб применение омагниченной воды затворения позволило повысить прочность изделий и значительно снизить брак после сушки (без больших дополнительных затрат) (табл. 40) [174].

Таблица 39. **Изменение предела прочности на сжатие труб и кислотоупорных изделий при применении омагниченной воды для затворения, МПа**

Изделия	После сушки		После обжига	
	вода обычная	вода омагниченная	вода обычная	вода омагниченная
Трубы	109,9	147,5	375,6	408,8
Кирпич кислотоупорный	8,0	10,1	43,1	54,2
Плитка кислотоупорная	7,8	9,8	52,7	65,1

Имеются официальные данные об успешном внедрении в 1974 г. магнитной обработки воды на Ангренском керамическом комбинате (эффект 30 тыс. руб./год), о принятии этого метода к внедрению на Харьковском керамико-трубном заводе и Артемовском заводе строительной керамики (1974 г.). Отмечена необходимость применения магнитной обработки воды и на других заводах, производящих различные керамические изделия.

Таблица 40. **Эффективность применения магнитной обработки воды в производстве керамических труб на Свердловском заводе**

Показатели	Вода		
	обычная	с добавкой ССБ*	омагниченная
Влажность после сушки, %	0,9	4,1	0,8
Прочность на сжатие, Н на 1 м длины:			
после сушки	76,9	90,6	91,5
после обжига	2700	3340	3400
Брак после сушки, %	7,1	2,3	0,9

* ССБ—сульфит-спиртовая барда.

Экономический эффект от применения магнитной обработки на заводах, производящих керамические канализационные трубы и кислотоогнеупорные изделия, достигает 500 тыс. руб.

Производство кирпича

Серьезные исследования по применению магнитной обработки воды в производстве алюмосиликатных огнеупоров проведены А. В. Севриковым [175] и Б. Т. Харьковским [19, стр. 197—199]. Магнитной обработке подвергали воду с общей жесткостью 19,2 мг-экв/л; состав воды приведен ниже, мг/л:

Ca^{2+} . . .	12,6	Fe^{2+} . . .	0,5
Mg^{2+} . . .	6,6	Cl^{-}	0,5
Na^{+}	1,7		

В опытах был использован аппарат с пятью электромагнитами; оптимальная напряженность поля составляла 400 кА/м (5000 Э), скорость воды 0,75 м/с.

Магнитная обработка воды оказывает положительное влияние как на свойства образцов огнеупоров, полученных полусухим и пластическим формованием, так и на свойства обожженных образцов. Петрографический анализ показал меньшее раскрытие трещин и более плотный контакт зерен шамота с цементирующей связкой в случае применения омагниченной воды. Прочность обожженных образцов возрастает на 21,8%, плотность — на 0,05 г/см^3, пористость снижается на 3,1%.

Промышленные испытания, проведенные на Великоанадольском шамотном заводе, показали, что прочность сырца при полусухом и пластическом методах формования возрастает соответственно на 24,8 и 31,4%. Еще больший эффект выявлен на обожженных изделиях: прочность возросла на 29,5—55%, пористость снизилась на 4,1%. Лишь термостойкость изменилась мало (табл. 41). Годовой экономический эффект от применения магнитной обработки на этом заводе составляет около 40 тыс. руб. Однако более важным является то, что применение улучшенного огнеупорного кирпича позволяет увеличить срок службы футеровки и, тем самым, время между ремонтами тепловых агрегатов, что имеет огромное практическое значение. В 1971 г. в литейном цехе Ждановского ремонтно-механического завода вагранки футеровали в местах соприкосновения огнеупоров с расплавленным металлом наполовину обычным

огнеупором, наполовину — изготовленным с применением омагниченной воды. Промышленный эксперимент показал, что в последнем случае срок службы огнеупорных изделий возрастает в 1,5 раза.

Таблица 41. **Характеристика огнеупорных изделий Великоанадольского шамотного завода, изготовленных полусухим способом с применением обычной и омагниченной воды, по годам**

Свойства	Обычная вода				Омагниченная вода		
	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973
Предел прочности при сжатии, МПа	17,7	16,8	17,2	17,5	19,4	21,8	24,1
Кажущаяся пористость, %	24,3	22,5	24,4	23,3	21,6	18,6	18,8
Кажущаяся плотность, г/см³	1,98	2,0	1,96	2,01	2,03	2,10	2,09
Дополнительная усадка, %	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

Б. Т. Харьковский, В. П. Гулякова и Ю. Г. Ушаков испытали другой метод использования омагниченной воды в производстве огнеупоров [19, стр. 197—199]. При обжиге каолина на шамот во вращающихся печах, в зоне «термического удара», вследствие интенсивной дегитратации каолина, выделяется большое количество пыли. Для предотвращения этого сырье перед обжигом увлажняют и брикетируют. Были проведены испытания каолиновых образцов, увлажненных обычной и омагниченной водой, при строгом постоянстве остальных факторов. Кроме того, испытывались образцы, изготовленные с добавлениями 20% пыли, уловленной электрофильтрами. В обычных условиях эта пыль плохо смачивалась водой и не могла быть повторно использована для изготовления каолиновых брикетов.

Опыты показали, что применение воды, подвергнутой магнитной обработке в оптимальном режиме, позволяет примерно на 50% уменьшить образование пыли. Это свидетельствует о значительном увеличении механической прочности брикетов, увлажненных омагниченной водой. Проведенные промышленные испытания показали, что содержание пыли в дымовых газах обжиговых печей при этом снижается на 60%, а следовательно улучшаются условия труда и уменьшаются потери сырья.

Имеются данные о существенном увеличении прочности строительного кирпича — красного и силикатного — при магнитной обработке воды затворения. В промышленном масштабе испытана магнитная обработка влажного глиняного бруса, выходящего из пресса. На Лядовском кирпичном заводе (Пермское управление стройматериалов) в 1969 г. из такой омагниченной глиняной массы была сформована опытная партия кирпича-сырца (128 тыс. шт.), подвергнутая затем сушке и обжигу. Этот кирпич имел марку порядка 100—125, в то время как обычный кирпич имеет марку порядка 75—100; это объясняется значительным увеличением прочности (на 30—40%) кирпича опытной партии.

На Березниковском заводе силикатного кирпича прочность кирпича возросла на 25%, что соответствовало повышению марочности кирпича со 100—125 до 125—150 (годовой экономический эффект составил примерно 50 тыс. руб.).

Производство литейных форм

От свойств литейных форм (их прочности, газопроницаемости) во многом зависит качество получаемых отливок. Поэтому представляет существенный интерес использовать омагниченную воду для затворения шихты, содержащей в качестве связующего бентонит, огнеупорную глину или цемент. Результаты исследования А. Чумаковой с соавторами [176], проведенного при различном содержании в шихте огнеупорной глины типа бентонита, времени перемешивания смеси в бегунах и различном режиме магнитной обработки технической воды, показали, что использование омагниченной воды позволяет повысить прочность песчано-глинистых и песчано-бентонитовых смесей на 25—30%. Газопроницаемость смесей тоже возрастает.

Ю. Б. Васин с соавторами также проводил исследования с песчано-бентонитовыми смесями (100 ч. песка, 10 ч. глины, 4,5 ч. воды). Время между магнитной обработкой водопроводной воды и ее добавлением к шихте составляло строго один час. Применение омагниченной в оптимальном режиме воды привело к значительному

улучшению характеристики сырых форм: их прочность возросла с 37—40 до 49—52 кПа, газопроницаемость с 287 до 313 условных единиц [79]. Хорошие результаты получены и на песчано-цементных смесях. Прочность сырых смесей возросла на 20—22%, что дало возможность сократить расход цемента [177].

В 1971 г. магнитная обработка воды внедрена в литейное производство на Челябинском металлургическом заводе.

7. ДРУГИЕ ОБЛАСТИ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРИМЕНЕНИЯ МАГНИТНОЙ ОБРАБОТКИ

Производство бумаги

Важнейшей характеристикой бумаги является прочность. Она зависит от ряда факторов: прочности и длины исходных волокон, характера и степени их переплетения, фибриллирования или изменения внешней поверхности, силы взаимосцепления волокон и др.

И. В. Жуков и Ю. Г. Бутко установили, что при пропускании бумажной массы (концентрация целлюлозы в воде 1,5 г/л) через магнитное поле со скоростью 0,8 м/с с последующим одинаковым отливом на сетке листоотливного аппарата прочность бумаги разных типов значительно возрастает (табл. 42) [178]. Отмечены и другие положительные эффекты: улучшается водоотдача бумажной массы на сеточном столе бумагоделательной машины, сокращается расход пара на сушку бумажного полотна и повышается плотность бумаги.

Механизм явлений, вызываемых магнитной обработкой, И. В. Жуков и Ю. Г. Бутко объясняют следующим образом [179]:

магнитная обработка как взвеси волокон в технической воде, так и воды до подачи в нее волокон, усиливает взаимосцепление волокон;

в результате магнитной обработки резко упорядочивается ориентация волокон (рис. 72);

указанные изменения происходят как в случае обработки воды (до внесения в нее волокон), так и после обработки суспензии (вода—волокна) с концентрацией твердого 4 г/л. Но в последнем случае достигается бо́льший эффект.

Таблица 42. Влияние магнитной обработки бумажной массы на механическую прочность бумаги различных видов

Показатели	Мешочная			Типографская			Электрохимическая		
	без обработки	после обработки	эффект, %	без обработки	с обработкой	эффект, %	без обработки	с обработкой	эффект, %
Разрывная длина, м	3255	3730	14,6	2295	2593	13,0	1790	5298	10,6
Сопротивление:									
раздиранию, Н/см	0,161	1,937	20,3	0,322	0,372	15,3	0,380	0,427	12,4
продавливанию, Н/см²	33	40	17,0	12	14	17,2	13	15	13,5
излому (число двойных перегибов)	800	900	13,6	—	—	—	350	386	9,8

Поскольку волокна целлюлозы диамагнитны, трудно предположить, что при кратковременном воздействии слабого магнитного поля они приобретают более однородную ориентацию. По нашему мнению, это связано со снижением степени гидратации поверхности волокон

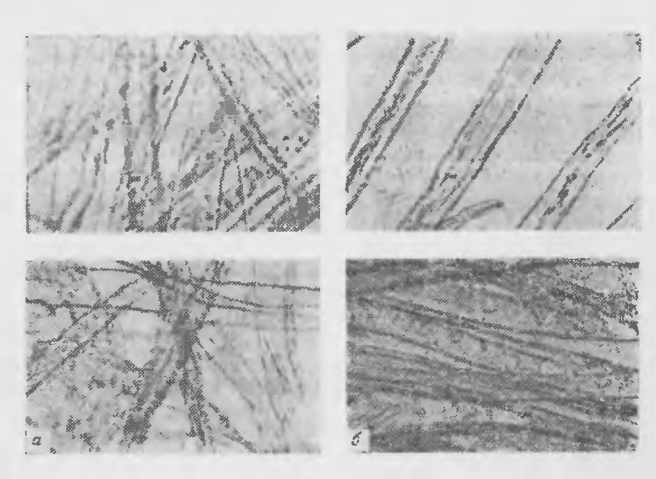


Рис. 72. Расположение **волокон целлюлозы без магнитной обработки** (*а*) **и после магнитной обработки** (*б*); **вверху — сульфатная** небеленая целлюлоза; **внизу — сульфитная** беленая целлюлоза.

(п. 2, гл. II), что в свою очередь может привести к их более сильному взаимосцеплению под действием молекулярных сил. Стремление к контакту по образующей поверхности волокон (а не в точках при их переплетении) может повлиять на ориентацию волокон. Другими словами, в этом процессе, очевидно, основную роль играют поверхностные силы.

Магнитная обработка водной суспензии из небеленой и беленой целлюлозы приводит также к улучшению процесса фильтрования, что согласуется с данными п. 4 этой главы. И. Я. Подчерняев и В. Е. Филиппов обоснованно связывают это с уменьшением гидратации (смачиваемости) поверхности волокон целлюлозы [180].

Магнитная обработка водных систем в процессах производства бумаги оказывается весьма полезной и при осветлении оборотных вод (как это указывалось в п. 5 данной главы). И. Я. Подчерняев и Н. З. Банеле показали, что в лабораторных условиях при воздействии полем напряженностью 100 кА/м (1280 Э) на поток воды со взвешенными частицами (скорость потока 0,6 м/с) скорость их оседания возрастает почти в 2 раза. Опыты, проведенные в течение года на очистных сооружениях бумажной фабрики им. Ю. Янониса, показали, что производительность этих сооружений возрастает более чем на 30%. Одновременно улучшаются свойства осадков в линиях конических ловушек, что облегчает удаление осадков. В условиях этой бумажной фабрики повышение производительности очистных сооружений и степени очистки воды дает годовой экономический эффект 134 тыс. руб. [181].

Производство окатышей

Процессы гранулирования (окомкования) порошков широко применяют в различных производствах. Поэтому представляет интерес использование омагниченной воды для получения сырых окатышей. Однако публикаций о проведении работ в этом направлении нет, за исключением одной [182], в которой говорится о применении магнитной обработки при получении сырых окатышей железорудных концентратов обогатительной фабрики Курской магнитной аномалии. При периодическом гранулировании концентратов и шихты с применением омагниченной воды время, необходимое для окомкования, сокращается на 12—22% и одновременно снижается влажность окатышей с 9—10,5 до 6,8—7,8%. Эти результаты хорошо согласуются с данными о лучшем слипании твердых частиц при замене обычной воды омагниченной.

Агломерация

Железорудный порошкообразный концентрат перед плавкой в доменных печах подвергают агломерации. Этот процесс протекает более интенсивно в случае предварительного окомкования шихты, что приводит к увеличению ее газопроницаемости на агломерационной ленте.

В работах В. А. Мартыненко с соавторами [12, с. 161—164; 183] описаны опыты, проведенные в условиях Южного горнообогатительного комбината. Магнитной обработке подвергали воду двух видов — техническую и питьевую (табл. 43).

Таблица 43. **Характеристика обрабатываемой воды**

Показатели	Вода	
	техническая	питьевая
Общая жесткость, мг-экв/л	17,3	3,4
Содержание, мг/л:		
сухого остатка	3299	257
хлоридов	1548	35
кальция	125	48
магния	184	12
железа общего	0,15	0,10
Концентрация ионов, мг/л:		
натрия	853	36
гидрокарбонатных	146	165
сульфатных	398	65
кремневой кислоты	7	2,7
pH	7,4	7,4

Магнитную обработку проводили с помощью электромагнитных аппаратов типа АЗТМ (см. рис. 44) при напряженности поля 18—38 кА/м (220—480 Э) и скорости воды 1,5—1,8 м/с. При промышленных испытаниях применяли аппараты ПМУ (см. рис. 39). Железный концентрат, смачиваемый водой перед окомкованием, содержал 64,7% железа; количество частиц размером более 0,28 мм составляло 0,6%, частиц размером менее 74 мкм 89,8%. Шихта состояла из 70% концентрата, 6% известняка, 3% коксика и возврата (остальное). Окомкование (60 кг шихты) проводили в лабораторном окомкователе в течение 2 мин. Воду в строго постоянном количестве смешивали с шихтой перед окомкованием с доведением влажности шихты до 8,5%. В табл. 44 приведены результаты опытов. Из таблицы видно, что магнитная обработка питьевой и еще в большей степени технической воды приводит к значительному увеличению крупности и газопроницаемости шихты, а также прочности получаемых гранул.

Таблица 44. **Влияние омагничивания воды на окомкование шихты перед агломерацией**

Вода	Выход класса +5 мм, %	Газопроницаемость, м³/мин	Сопротивление, Н, раздавливанию гранул размером, мм	
			+9	−9+5
Питьевая:				
обычная	32,0	32,0	2,8	—
	31,9	32,0	2,9	—
	31,3	32,5	2,8	—
омагниченная	35,4	28,0	3,0	—
	34,0	31,0	3,0	—
	36,4	29,1	3,1	—
Техническая:				
обычная	31,6	28,7	4,0	1,9
	36,4	28,6	3,8	1,8
	35,5	28,0	4,0	1,9
омагниченная	49,8	28,7	4,7	2,7
	38,1	28,7	4,5	2,8
	40,0	28,0	4,7	2,7

Промышленные испытания подтвердили лабораторные данные. При спекании шихты на агломерационной ленте газопроницаемость слоя возросла на 18%. Это позволяет вести спекание при повышенной скорости ленты, т. е. увеличить производительность. Положительные результаты получены С. С. Черкасовым, Н. С. Шаповаловым, Л. А. Ениным и Ф. А. Березовским и на агломерационной фабрике Криворожского металлургического завода им. В. И. Ленина [12, с. 164—165]. Производительность лабораторной агломерационной ленты возросла на 11%, промышленной — на 1,5%; одновременно прочность агломерата повысилась на 1,3%. Следует отметить, что в последних опытах оптимальный режим магнитной обработки не подбирали.

Производство синтетических волокон и каучука

В этом производстве используется прежде всего повышенная растворяющая способность омагниченной воды. На Стерлитамакском опытно-промышленном заводе А. Г. Лиакумович, А. М. Ромашко и В. М. Сергеев при-

менили омагниченные растворы при получении алюмо-хромового катализатора дегидрирования воды. Это позволило интенсифицировать отмывку суспензии цинк-железо-хромового катализатора, а также отмывку каучука СКИ-3 от солей металлов [12, с. 177—181].

При приготовлении алюмо-хромового катализатора растворы Cr_2O_3 и КОН пропускали со скоростью 0,8 м/с через постоянное поле напряженностью 130 кА/м (1650 Э). Эффект оценивали по изменению прочности катализатора, его активности и селективности. Результаты опытов свидетельствуют о том, что магнитная обработка исходных растворов способствует улучшению свойств катализатора дегидрирования.

Обычно при приготовлении катализатора полученную суспензию промывают большим количеством воды для удаления образовавшегося при осаждении сернокислого аммония. Как видно из табл. 45, магнитная обработка

Таблица 45. **Влияние магнитной обработки растворов на отмывку суспензии цинк-железо-хромового катализатора. Содержание $(NH_4)_2SO_4$, г/л**

Осаждение неомагниченных растворов и промывка неомагниченной водой	Осаждение омагниченных растворов $FeSO_4$ и Na_2SiO_3 в воде	Осаждение омагниченной отмывной водой	Осаждение неомагниченных растворов и промывка неомагниченной водой	Осаждение омагниченных растворов $FeSO_4$ и Na_2SiO_3 в воде	Осаждение омагниченной отмывной водой
1,24	1,33	1,28	0,13	0,15	0,037
1,10	1,27	1,12	0,11	0,05	0,017
0,67	0,61	0,251	0,082	0,021	—
0,26	0,31	0,107			

промывной воды позволяет вдвое сократить число промывок и, тем самым, объем промывной воды. Это не только ускоряет процесс, но и уменьшает потери катализатора. При этом качество катализатора не меняется.

Результаты опытов по применению омагниченной воды для отмывки каучука СКИ-3 от остатков катализатора полимеризации приведены в табл. 46. Омагничивание достигалось пятикратным пропусканием воды через переменное магнитное поле частотой 50 Гц и напряженностью 29—51 кА/м (360—640 Э). Данные табл. 46 свидетельствуют о существенном улучшении отмывки полимеризата.

Таблица 46. **Влияние магнитной обработки воды на отмывку каучука СКИ-3 от остатков катализатора**

(1 Ам = 0,0126 Э)

Напряженность магнитного поля, кА/м	Содержание остатков, % (масс.)		Напряженность магнитного поля, кА/м	Содержание остатков, % (масс.)	
	отмывка обычной водой	отмывка омагниченной водой		отмывка обычной водой	отмывка омагниченной водой
29	0,077	0,085	29	0,170	0,150
29	0,147	0,073	51	0,075	0,070
29	0,254	0,199	51	0,180	0,090
29	0,160	0,097	51	0,120	0,006

Полупромышленные испытания показали (табл. 47), что применение омагниченной воды позволяет в 1,5—2 раза уменьшить содержание золы в полимере, а содержание титана — в 2,5—3 раза. Это резко улучшает ка-

Таблица 47. **Влияние магнитной обработки воды на отмывку каучука СКИ-3 от остатков катализатора**

Отмывка обычной обессоленной водой		Отмывка омагниченной водой	
содержание золы, %	содержание титана, %	содержание золы, %	содержание титана, %
0,150	0,054	0,090	0,016
0,165	0,044	0,030	0,007
0,135	0,049	0,050	0,007
0,190	0,041	0,075	0,007
0,190	0,050	0,100	0,009

чество каучука. По сообщению А. Ликумовича, на Стерлитамакском опытно-промышленном заводе внедрены промышленные установки для магнитной обработки воды, применяемой для отмывки каучуков, а также установки для обработки растворов, идущих на приготовление катализаторов дегидрирования.

Другим примером использования повышенной растворяющей способности омагниченной воды в производстве полимеров является отмывка поливинилхлоридного волокна (ПВХ) от диметилформамида (ДМФ). Этот процесс в обычных условиях протекает очень медленно и требует громоздкого аппаратурного оформления. Опыты

Б. Ф. Татарникова, Н. И. Орлова и Н. А. Смыслова дали весьма положительные результаты [12, с. 190—193]. Опытная непрерывно действующая установка производительностью по волокну 50 кг/сут состояла из аппарата для магнитной обработки промывной жидкости, аппаратуры для строгого контроля ее расхода и контакта, а также ванны, в которой перемещался и промывался жгут ПВХ. Температура, расход жидкости и другие параметры были стабилизированы. Результаты опытов приведены в табл. 48. Как видно из табл. 48, при применении омагниченной промывной жидкости вдвое возрастает извлечение ДМФ.

Таблица 48. **Влияние магнитной обработки промывной жидкости на интенсификацию отмывки волокна**

Показатель	Среднее из пяти опытов	Средняя ошибка
Концентрация растворителя в волокне на входе в ванну, %	74,5	±4,2
Концентрация растворителя в волокне после отмывки, %		
без магнитной обработки	57,6	±5,6
после магнитной обработки	36,0	±5,8
Эффект отмывки, %		
без магнитной обработки	16,9	±4,8
после магнитной обработки	38,5	±5,1

Другая возможность использования магнитной обработки водных систем в производстве синтетических волокон связана (п. 2 гл. II) с влиянием ее на процессы сорбции. П. М. Соложенкин, Н. Я. Калонтаров и Н. А. Стрункина исследовали влияние магнитной обработки водных систем на процессы сорбции и фиксации дисперсных красителей синтетическими волокнами [12, с. 193—196]. Обычно для интенсификации этих процессов применяют различные реагенты, однако они не дают требуемого эффекта. Магнитной обработке подвергали техническую воду и бидистиллят. Объектом исследования служило трикотажное полотно из блестящего капрона. Магнитную обработку осуществляли с помощью специфического электромагнитного аппарата, отличающегося тем, что вода могла находиться в поле различное, довольно длительное время. Оптимальная напряженность поля составляла 315 кА/м (3960 Э). Красителями служили дисперсные кристаллы: I — дисперсный фиолетовый К и II — проционайл синий RS.

Крашение красителем I осуществляли в течение часа в растворе, содержащем 30%-ную уксусную кислоту (2 г/л) и смачиватель — лиссанол N (1 г/л), при pH 3,5—4 и температуре 95°C. При применении красителя II после крашения в течение часа в раствор вводили кальцинированную соду (до 2,5—3,0 г/л) и крашение продолжали еще час.

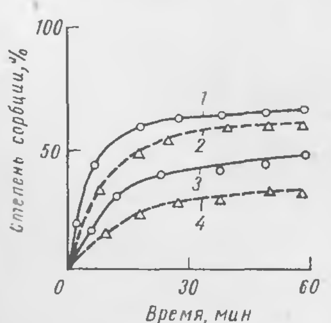


Рис. 73. **Влияние магнитной обработки бидистиллята на сорбцию красителя *I* (сплошные линии) и красителя *II* (штриховые линии) капроновым полотном:**
1, *2* — в омагниченной воде; *3*, *4* — в воде обычной.

На рис. 73 приведены результаты, полученные при использовании омагниченного бидистиллята. Как видно из рисунка, после магнитной обработки степень сорбции обоих красителей возрастает. Еще заметнее этот эффект при омагничивании технической воды: степень сорбции красителя I возрастает с 6,1 до 7,8 мг/л, а красителя II — с 4,9 до 7,1 мг/л (т. е. на 42%). Оптимальная продолжительность магнитной обработки воды составляет 40 мин. После крашения в омагниченной воде прочность окрасок к действию мокрых обработок возрастает на 1—2 балла. Авторы этого исследования полагают, что магнитная обработка ускоряет диффузию красителя внутрь волокон.

Н. В. Никонов и В. К. Поляков (ЦНИИШерсть) также установили, что при использовании омагниченных растворов красителей качество крашения шерстяных тканей улучшается.

Аккумуляторы

Основным недостатком широко применяемых свинцовых аккумуляторов является низкий коэффициент использования активной массы, особенно — положительных пластин. Для повышения этого коэффициента М. Ф. Скалозубов, Ф. Н. Кукоз, В. Н. Гончаров, В. П. Бресла-

вец и А. Г. Молчан подвергли магнитной обработке растворы серной кислоты [19, с. 255—256; 184]. Они установили, что при воздействии на раствор знакопеременного магнитного поля частотой 50 Гц свойства приготовленной массы улучшаются. Ее емкость возрастает на 5—7%. В случае формирования положительных электродов в омагниченном электролите емкость возрастает на 9—12%, срок службы на 11—44%. В течение 60—80 циклов опытные и контрольные электроды ведут себя одинаково; затем опытные электроды начинают отдавать бо́льшую емкость, чем контрольные. Рентгенографические, гальваностатические и другие исследования показали, что омагничивание электролита приводит к изменению структуры массы, облегчающему проникновение электролита внутрь массы. Несмотря на менее плотную упаковку кристаллов, масса получается более прочной (прочность возрастает на 8—10%). Это объясняется изменением формы образующихся кристаллов и более упорядоченной их ориентацией.

Катализаторы

Г. К. Чернов, М. М. Левкович, К. Н. Соколов, Р. С. Арзуманова и Н. П. Косогова подвергали магнитной обработке растворы нитратов кобальта (40 мг/л), тория (2 г/л), магния (5 г/л), на основе которых получают катализатор, используемый для синтеза углеводородов [12, с. 187—189]. Осаждение металлов проводили через 60 мин после обработки. Катализатор готовили обычным способом. Перед синтезом углеводородов его восстанавливали в токе водорода при 400°С. Катализатор испытывали в лабораторной установке при обычном давлении в течение 15—20 суток непрерывной работы. Опыты показали, что активность катализатора, полученного из омагниченного раствора, возрастает на 13%; при этом суммарный выход углеводородов увеличивается со 108 до 121 г/м^3 газа. Авторы отмечают, что структура катализатора изменяется.

Смазочно-охлаждающие жидкости

Смазочно-охлаждающие жидкости, широко применяемые при обработке металлов, во многом определяют стойкость режущих инструментов. Опубликованы две работы по омагничиванию смазочно-охлаждающих жидкостей, в которых получены примерно одинаковые результаты. А. С. Серебрянников, В. П. Ковтун и В. И. Шеян пропускали 5%-ную водную эмульсию эмульсола ЭТ-2 через поле напряженностью 219 кА/м (2200 Э), а затем подавали ее в зону резания сверла вертикального станка. Сверло диаметром 12 мм было выполнено из стали Р6М3. Скорость резания обрабатываемого материала (стали) составляла 25 м/мин; расход эмульсии 4—5 л/мин. Длительные испытания показали, что стойкость сверл, охлаждаемых омагниченной эмульсией, возрастает на 30—40%, а их износ становится более равномерным по длине режущих кромок. Это может быть связано с изменением смачивающей способности смазочно-охлаждающей жидкости [19, с. 251—252]. Следует заметить, что возможна и активация сорбции эмульсола.

Л. В. Худобин, А. Л. Глузман и В. Ф. Гурьянихин [185] установили, что магнитная обработка водной эмульсии в случае упругого шлифования металла кругами из сверхтвердых материалов позволяет в 3,0—3,2 раза снизить удельный расход алмазов (при тех же шероховатости и интенсивности съема металла). При круглом наружном шлифовании значительно повышается стойкость абразива. Заметно стабилизируются свойства эмульсии: из омагниченной эмульсии на 30-й день после приготовления выделяется в 5 раз меньше масла, чем на 3-й день из обычной.

Обезвоживание нефтяных эмульсий

При магнитной обработке водных эмульсий в ряде случаев происходит их обезвоживание. Это, по-видимому, обусловлено составом эмульсии и режимом магнитной обработки.

Ш. Н. Алиев, Д. М. Агаларов, А. М. Садыхов и В. Т. Аникина подвергали магнитной обработке водо-нефтяную эмульсию. Пробы эмульсии помещали в водяную баню, нагретую до температуры промышленного деэмульгирования (60°С) и выдерживали при этой температуре в течение 1 ч. После 4-часового отстаивания определяли степень расслоения эмульсии на нефть и во-

ду, количество выделившейся воды, соленость и другие характеристики деэмульгированной нефти.

Как известно, основными показателями эффективности деэмульгирования является глубина обезвоживания и степень обессоливания эмульсии. После магнитной обработки из эмульсии с обводненностью 12% выделилась основная масса воды и остаточная обводненность составила всего 0,72%. При этом соленость снизилась с 5291 до 146 мг/л. Заметно возросла скорость расслаивания [19, с. 257].

Производство соды

М. Ф. Скалозубов и Л. Н. Мацкевич установили, что при производстве каустической соды известковым способом с использованием омагниченных растворов константа равновесия увеличивается в два раза.

Ими исследовано применение магнитной обработки в содовом производстве перед вакуум-выпаркой. Обработке подвергали раствор кальцинированной соды при 70—85°С. Известковую кашицу, приготовленную на дистиллированной воде, подвергнутой магнитной обработке, нагревали до той же температуры и заливали в каустификатор вслед за раствором соды при непрерывном перемешивании. Через 30 мин после начала каустификации отбирали продукты реакции на анализ (при 38°С). Результаты опытов показали, что агрегативная устойчивость суспензии возрастает в 1,2—1,6 раза; содержание Na_2CO_3 в осветленном щелоке снижается в 2 раза; степень каустификации возрастает на 5—6%. Рентгеноструктурный анализ осадка показал некоторое изменение фазового состава — появляется персонит ($Na_2CO_3 \cdot CaCO_3 \cdot 2H_2O$), т. е. продукт взаимодействует с исходным реагентом. Полученные результаты свидетельствуют о целесообразности развития исследований по применению магнитной обработки в производстве соды [12, с. 201—202]. Недавно В. А. Присяжнюк отметил улучшение процессов гашения извести и отстаивания рассолов.

Производство хлора

Б. А. Кривой и А. М. Пеклер исследовали возможность применения магнитной обработки водных систем в производстве хлора в трех направлениях: а) для управления процессами кристаллизации примесей, коагуляции формирующихся осадков и улучшения очистки промышленных растворов и сточных вод; б) для ускорения растворения солей и минералов и в) для управления процессами термической кристаллизации хлоридов металлов. Во всех случаях ими получены положительные результаты [19, с. 125—129]. Они применяли магнитную обработку в конкретных производственных процессах: для очистки рассола диафрагменного электролиза, растворов хлорид-хлоратных щелоков и хлористого марганца, а также для освобождения каинитовых щелоков от сульфатов металлов и растворов различных электролитов от гидроокиси железа и других примесей.

Особенность магнитной обработки водных систем в этих исследованиях состояла в том, что давление в потоке было пульсирующим (выше нами упоминалось о положительной роли перепадов давлений в магнитных аппаратах).

Опыты показали, что скорость оседания взвеси, состоящей из $CaCO_3$ (0,5 г/л) и $Mg(OH)_2$ (0,1 г/л), и формирования осадка после магнитной обработки возрастают в 2 раза, скорость фильтрования — в 4 раза. Омагничивание растворов хлорид-хлоратных щелоков, содержащих до 0,5 г/л примесей гидрата окиси железа, а также примеси графита, карбоната кальция и др. (всего 300 мг/л), позволяет увеличить скорость оседания взвеси в 1,8 раза. В процессе освобождения каинитовых щелоков от сульфатов железа формируется концентрированная суспензия гипса (до 100 г/л). При проведении этого процесса с омагничиванием системы в течение 10—12 мин при напряженности магнитного поля 64 кА/м (800 Э) скорость оседания взвеси возрастает на 60%.

После 10-минутного воздействия магнитного поля на многокомпонентную суспензию, содержащую 200 г/л $MnCl_2$, по 5 г/л $Fe(OH)_3$, NiS, PbS, FeS и 3 г/л SiO_2, скорость осаждения возросла на 120%, а плотность осадка — на 40%; скорость растворения хлористого натрия также может быть увеличена в 1,8 раза. Приведенные результаты, хотя и характеризуют начальный этап исследований по применению магнитной обработки в хлорной промышленности, однако свидетельствуют о перспективности этого метода. Следует обратить внима-

ние на возможность интенсификации процесса сочетанием пульсации жидкости с увеличением времени нахождения водной системы в магнитном поле.

Выщелачивание металлов из руд

Этот метод извлечения ценных компонентов из полезных ископаемых уже получил определенное развитие, перспективы его дальнейшего распространения очень велики. Процесс выщелачивания (обычного и бактериального) может быть значительно интенсифицирован применением магнитной обработки водных систем. При этом реализуются такие свойства омагниченных растворов, как повышенная растворяющая способность и биологическая активность.

Влияние магнитной обработки водного раствора серной кислоты на выщелачивание меди из руды исследовано Ю. С. Рыбаковым, Б. Д. Халезовым, И. Г. Пустильник и А. И. Некрасовым [19, с. 236—237]. Они проводили опыты с сульфидной «упорной» рудой Джезказганского месторождения следующего состава: 0,52% Cu, 3,52% Fe, 0,33% S, 65,3% SiO_2, 1,41% MgO, 11,9% Al_2O_3, 3,47% CaO, 0,0016% As, 60,053% Cl. Эту руду, дробленую до частиц размером 30 мм, загружали в полиэтиленовые перколяторы и орошали 1%-ным раствором серной кислоты, предварительно пропущенным со скоростью 1 м/с между полюсными наконечниками (диаметром 150 мм) постоянного электромагнита системы П. Л. Капицы. Просочившийся через слой зерен руды раствор анализировали на медь и кислоту. Через семь месяцев выщелачивания получено следующее извлечение меди растворами, обработанными полем разной напряженности:

Напряженность поля:						
кА/м	0	60	80	160	400	800
Э	0	700	1000	2000	5000	10 000
Извлечение меди, % . .	20,0	24,2	25,0	18,9	26,0	20,5

Значительный прирост извлечения наблюдается при напряженности магнитного поля 60—80 кА/м (700—1000 Э). Повышение напряженности магнитного поля до 800 кА/м (10 кЭ) не привело к улучшению результатов. В оптимальном режиме были проведены опыты продолжительностью 525 суток. За это время в обычный раствор было извлечено 58,7% меди, а в омагниченный 71,5%. Приращение извлечения на 12,8% (на 20,2% относительных) является очень большим и не может быть случайным. Необходимо отметить, что выщелачивание последних 10% меди (с повышением извлечения с 60 до 70%) является наиболее затруднительным и медленным. На это уходит обычно 8—10 месяцев. В опытах отмечена также возможность сокращения расхода серной кислоты.

Первые наблюдения, установившие перспективность применения магнитной обработки для интенсификации бактериального выщелачивания, осуществлены Г. О. Агафоновой, В. И. Классеном и Ю. А. Мартьяновым [116]. Следует отметить, что бактериальное выщелачивание успешно и в большом масштабе применяют в Канаде, Англии, США и других странах для экономичной переработки руд с низким содержанием урана, меди и других ценных компонентов.

Одной из основных задач, облегчающих применение бактериального выщелачивания, является улучшение размножения и продуктивной деятельности бактерий.

Опыты проводили следующим образом. В один сосуд был залит обычный бактериальный раствор, в другой — омагниченный. Деятельность бактерий оценивали по скорости перевода закисного железа в окисное. Если в контрольном опыте этот процесс заканчивался через 10 суток, то в сосуде с омагниченным раствором — на шестые сутки, т. е. скорость процесса возрастает в 1,6—1,7 раза. Микробиологический анализ растворов показал, что магнитная обработка приводит примерно в такой же пропорции к росту концентрации биомассы: в 1 мл контрольного раствора на седьмой день содержалось 10^5 клеток, такое же количество клеток в омагниченном растворе содержалось уже на четвертый день.

Гидротехническое строительство

Гидромеханизация играет большую роль в гидротехническом, ирригационном, промышленном и других видах строительства. Ежегодно на долю гидромеханизации приходится около 250 млн. $м^3$ работ. При намыве гидротехнических сооружений (плотин, дамб, перемычек и др.), а также при вскрышных работах очень важно,

чтобы грунт быстро осел, образовал плотный и прочный осадок, а вода была осветлена до степени, позволяющей использовать ее повторно.

Приведенные в п. 2 гл. II сведения о влиянии магнитной обработки воды и суспензий на коагуляцию и свойства осадков обосновывают перспективность ее применения в гидромеханизации.

Н. Е. Замятина [186] на основании предварительных лабораторных опытов провела натурные испытания магнитной обработки пульпы для интенсификации оседания глинистых частиц при разработке Худонского месторождения Сванетского рудоуправления (Грузия). Она установила возможность увеличения скорости оседания на 25—30%.

Ю. Н. Водяницкий и Ю. Б. Осипов детально исследовали упрочнение намывных глинистых грунтов магнитной обработкой пульпы [12, с. 237—243]. Лабораторные опыты с различными глинами и супесями были проведены в полевых условиях при намыве глинистого грунта на гидроотвале «Шевалев Яр» в районе г. Белгорода. Обработку пульпы проводили в соленоиде, в котором число витков убывало по направлению движения пульпы. Оставляя в стороне соображения авторов о механизме наблюдаемых явлений, представляющиеся нам спорными, приведем лишь конечные результаты полевого эксперимента. Прочность грунта, намытого после магнитной обработки, оказалась в 2 раза выше, чем без магнитной обработки, влажность была соответственно на 10% ниже. Меньше была и так называемая «трещинная пустотность» (в 1,5—1,7 раза). Это направление повышения эффективности гидромеханизации и гидростроительства заслуживает всемерного развития.

Борьба с коррозией

При описании электрохимических эффектов (см. с. 73) отмечалось изменение скорости коррозии различных металлов в омагниченной воде и растворах кислот. Этот эффект может быть использован для практических целей.

Опыты показывают, что омагничивание водных систем позволяет уменьшить коррозию ряда металлов, в них находящихся. Опыты проводили в лабораторных и полупроизводственных условиях ([66], с. 17). Магнитной обработке подвергали дистиллированную воду, в которой был растворен хлористый натрий (концентрация хлора 150 мг/кг). В этот раствор погружали пластинки из стали 40ХН. Напряженность магнитного поля менялась от 13,6 до 160 кА/м (от 170 до 2000 Э). Скорость воды составляла 1,5 м/с. Обрабатываемый раствор проходил по стеклянной трубке, при этом он четыре раза пересекал магнитное поле. Температура раствора 100°С. Контроль коррозии осуществлялся весовым и электрохимическим способами; кроме того, определяли концентрации газов (CO_2, O_2) и величину pH. Электрохимический контроль заключался в определении потенциала стальных пластин (электродов) в исследуемых растворах по отношению к хлор-серебряному электроду сравнения. В опытах использовали катодный вольтметр ЛПП-60м.

Результаты опытов показали, что при определенной напряженности магнитного поля (40 кА/м или 500 Э) коррозия стали уменьшается на 20%. При смежных напряженностях магнитного поля эффект снижается и при напряженностях поля 0 и 80 кА/м (1000 Э) он равен нулю. Противокоррозионные свойства омагниченного раствора сохраняются довольно долго: через 24 ч после обработки раствора эффект снижался лишь на 40—50%. Параллельно проводившиеся определения концентрации кислорода в растворе с ростом напряженности магнитного поля показали, что эта концентрация изменяется, достигая минимальной (6,5 мг/кг) при напряженности поля 13,6 кА/м (170 Э). Определения pH показали отсутствие его значимого изменения. Симбатно изменению степени коррозии изменялось и электроотрицательное значение электродного потенциала стали.

Эти результаты опытов, представляющиеся нам достоверными, дают основания к следующим выводам (несколько отличающимся от выводов, сделанных в работе [66]):

магнитная обработка водного раствора хлористого натрия при определенной напряженности магнитного поля позволяет существенно снизить степень коррозии стали, находящейся в этом растворе;

данная зависимость носит экстремальный характер;

эффект лишь частично может быть связан с пони-

жением концентрации кислорода. При экстремальном значении напряженности (41 кА/м) она уменьшается всего на 0,7 мг/кг. Причины уменьшения степени коррозии подлежат расшифровке.

Следует подчеркнуть, что результаты этих опытов находятся в полном противоречии с основной гипотезой О. И. Мартыновой, развитой в работе [66], согласно которой единственным эффектом магнитной обработки является коагуляция мельчайших ферромагнитных частиц, ускоряющая процессы кристаллизации. С этих позиций нельзя объяснить ни изменения степени коррозии, ни изменения концентрации кислорода, ни экстремальной зависимости этих изменений от напряженности магнитного поля. Таким образом, эти результаты усиливают наши сомнения в отношении универсальности гипотезы, рассмотренной на с. 108.

Лабораторные опыты были проверены на полупроизводственной установке, на стенде с замкнутым циркуляционным контуром, имитирующим систему охлаждения двигателя внутреннего сгорания, и многократным пропусканием воды через магнитное поле (кратность циркуляции составляла 65—70 в час). Продолжительность одного цикла 48 ч (всего было проведено три цикла). Все остальные условия были те же, что и при проведении лабораторных опытов. С раствором контактировали пластины стали, алюминия и чугуна.

Результаты трех циклов таковы: в омагниченных растворах коррозия стали снизилась на 87,8%, алюминия — на 88,2% и чугуна — на 68,3%. Увеличение противокоррозионного действия (для стали в 4—5 раз) свидетельствует о целесообразности многократной магнитной обработки данного раствора.

Близкие результаты получены и А. Н. Шаховым. Он подвергал магнитной обработке дистиллерную жидкость (концентрированный водный раствор солей, преимущественно хлоридов). В раствор помещали образцы из Стали 20, сплава алюминия с бронзой и медные пластинки. Напряженность магнитного поля в опытах с образцами стали составляла 5 кА/м (62 Э), с образцами алюминия с бронзой 35 кА/м (440 Э) и с образцами из бронзы 100 кА/м (1250 Э). При этом коррозия уменьшилась соответственно на 25, 25,6 и 64,3%.

Снижение коррозии металлов в омагниченных водных растворах, как справедливо отмечает Е. Ф. Тебенихин, может быть наиболее эффективным при циркуляции растворов через магнитные поля (в замкнутых системах охлаждения двигателей внутреннего сгорания, в системах оборотного водоснабжения водяного отопления с чугунными котлами и др.).

Применение вихревых аппаратов

Научно-исследовательский институт «Эмальхиммаш» применил своеобразный метод магнитной обработки с микровихревым перемешиванием среды. Во вращающемся магнитном поле находятся ферромагнитные частицы оптимальных размеров. Среда одновременно подвергается воздействию переменным магнитным полем и интенсивному перемешиванию. Получены положительные результаты в ряде химических производств: при окислении фенола, извлечении ценных компонентов из сточных вод, производстве наполненного капролактама, получении тонкодисперсных суспензий, размоле целлюлозы и др. Этот метод представляется весьма перспективным.

8. ПРИМЕНЕНИЕ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

В последние годы получено много данных о положительном влиянии на рост растений различных физических воздействий — жесткого излучения, электрического тока, магнитных полей. Существенные результаты достигаются относительно простыми средствами. Кроме того, открываются значительные перспективы освоения засоленных земель, использования соленых вод для орошения.

Перспективность применения магнитной обработки воды для орошения посевов и рассоления почв вытекает из приведенных в гл. II данных об изменении физико-химических и биологических свойств омагниченной воды. Обобщение и анализ всего комплекса работ в области сельского хозяйства позволили нам обосновать важность этого направления использования омагниченной воды [117].

Орошение посевов

Первые сведения об улучшении роста растений при поливе водой, прошедшей предварительную магнитную обработку, опубликованы И. В. Дардымовым, И. И. Брехманом и А. В. Крыловым в 1965 г. (Институт биологически активных веществ Дальневосточного филиала СО АН СССР). В тепличных условиях высевали семена растений в цветочные горшки. Контрольные и подопытные растения поливали водой один раз в день, но подопытные поливали омагниченной водой (дистиллированной или водопроводной). В первой серии опытов на двенадцатый день отмечено, что с применением омагниченной воды высота подсолнуха увеличилась на 21%, высота сои — на 40%. Толщина стебля оказалась достоверно большей (на 26%) только у кукурузы, но увеличение ее высоты было менее заметно.

Результаты второй серии опытов, проведенных только с соей, приведены в табл. 49.

Таблица 49. **Влияние магнитной обработки поливной воды на рост сои**

Показатели	Дистиллированная вода		Вода из водопровода	
	обычная	омагниченная	обычная	омагниченная
Число всходов на 6-й день после высева, %	22	67	30	70
Количество листьев к 49-у дню, %	100	116	100	125
Высота растений, см:				
через 26 дней	9,17±0,6	10,65±0,54	6,9±1,02	12,0±0,29
» 39 »	11,8±0,44	13,9±0,26	9,0±1,07	17,4±0,4
» 54 »	16,5±0,81	18,1±0,51	12,7±1,25	22,3±0,95
Урожай на одно растение:				
г	10,8	15,55	12,07	14,05
%	100	144	100	116

Ниже приводим выдержку из работы этих авторов: «Таким образом, вода, обработанная магнитным полем, оказывает благотворное влияние на рост и развитие подсолнуха, кукурузы и сои, а также увеличивает урожай сои, не влияя на влажность и жирность бобов» [187].

В 1967 г. В. В. Лисин и Л. Г. Молчанова (Семипалатинский мединститут) опубликовали результаты своих опытов, проведенных в теплицах. При использовании омагниченной воды высота лука и моркови увеличилась на 22%, гороха — подземной части на 37%, надземной — на 14%, помидоров — на 18%. Отмечено ускорение начала цветения помидоров на 2 дня и увеличение на 18% массы плодов [188].

В 1973 г. П. А. Волконский (Кубанский сельскохозяйственный институт) опубликовал результаты опытов полива риса омагниченной водой в Казахстане (1970 г.) и на Кубани (1971 г.), приведенные в табл. 50 [189].

Аналогичные результаты получены и некоторыми другими авторами.

Таблица 50. **Влияние магнитной обработки воды на урожайность риса**

Орошение водой	Урожай		Расход воды на 1 ц урожая	
	ц/га	%	м³/ц	%
Обычной	42,2	100	560	100
Омагниченной	50,0	118	475	85

В течение 1971—1973 гг. Н. П. Яковлев и К. И. Колобенков проводили систематические опыты в вегетационном домике и на полях опытно-производственного хозяйства Волжского научно-исследовательского института гидротехники и мелиорации. Результаты опытов 1971—1972 гг. «...свидетельствуют о том, что при поливе гороха, сои, редиса, помидоров, огурцов, кукурузы и других сельскохозяйственных растений омагниченной водой последние лучше развиваются, на 1—3 дня раньше наступают фазы цветения и созревания, на 10—45% повышается урожайность». В 1973 г. опыты проводили на делянках при стандартном удобрении почвы. Конечные результаты приведены в табл. 51 [118]. На рис. 74 показаны культуры, выращенные при поливе обычной и омагниченной водой.

Существенная прибавка урожая получена при поливе омагниченной водой и других культур: сои «Амур-

Таблица 51. Влияние магнитной обработки поливной воды на урожайность ряда сельскохозяйственных культур

Культура	Прирост урожая при омагничивании воды, %	Примечания
Опыты в ящиках (0,6×0,4 м)		
Люцерна «Синегибридная»	48	Среднее по пяти укосам
Огурцы «Успех»	37	Цветение начиналось на 2 дня раньше
Помидоры «Волгоградский 5/95»	44	—
Редис «Сакса»	34	Листва стала более мощной
Редис «Красно-белый»	40	То же
Морковь «Нантская-4»	23	—
Горох «Рамонский»	31	—
Опыты на делянках (7 м²)		
Озимая пшеница «Лютесценс-159»	29±3,6	Три полива. Рост увеличился на 15—18 см
Огурцы «Успех»	26	—
Помидоры «Перемога»	31	Цветение началось на 3 дня раньше
Кукуруза «Одесская-10»	25	Рост с опережением контроля на 2—3 дня

ской-41» — на 28%, свеклы кормовой — на 20%, лука — на 29%.

Неудачными оказались опыты с картофелем и капустой. Н. П. Яковлев объясняет это тем, что данные опыты были заложены при самых неблагоприятных температурных условиях в вегетационном домике.

Отмечены и другие проявления положительного влияния омагничивания поливной воды на рост растений. Во Всесоюзном институте электрификации сельского хозяйства в 1977 г. исследовалось влияние омагниченной воды на укоренение зеленых черенков плодоягодных культур. В случае легкоукореняемых культур эффект оказался весьма существенным. Например, укоренение сливы «Память Тимирязева» на 11% превышало укоре-







Рис. 74. Фотографии растений, поливаемых обычной и омагниченной водой:

а — морковь; *б* — яровая пшеница; *в* — свекла; *1* — обычная вода (контроль); *2* — вода, подвергнутая однократной обработке; *3* — то же, двукратной обработке.

нение контрольных образцов. Отмечено увеличение суммарной длины корней первого порядка, приходящихся на один черенок, для смородины на 13,9% (по сравнению с контролем). Использование омагниченной воды для трудноукореняемых пород не дало положительных результатов.

В Венгрии Иштван Падош (István Padoc) отметил увеличение длины стеблей с 135 до 165 мм, а также значительно большее развитие корневой системы при применении омагниченной воды.

В Агрофизическом научно-исследовательском институте (И. Ф. Бондаренко, Е. З. Гак, Э. Х. Рохинсон) поливную воду подвергали магнитной обработке с помощью магнитофоров. Так называют своеобразные приспособления для магнитной обработки, изобретенные А. С. Фефером (Авторское свидетельство № 445438). Они представляют собой намагниченные особым образом диэлектрики. В пластины резины вводятся зернышки ферромагнитного вещества, намагничиваемые затем в импульсном магнитном поле. Изменяя форму пластин индуктора, получают магнитофоры с полем любой заданной конфигурации и полярности, с напряженностью от 160 А/м до 160 кА/м (от 2 до 2000 Э) и градиентом от 0,8 до 8000 А/(м·мм) или от 0,01 до 100 Э/мм. Достоинством магнитофоров является их дешевизна и простота в эксплуатации. Недостаток магнитофоров — малый радиус действия. На расстоянии 15 см от поверхности магнитофора напряженность магнитного поля снижается примерно в 10 раз.

Омагничивание поливной воды в магнитофорном шланге, проведенное указанными авторами в совхозе «Беседский» Ленинградской области, показало значительное увеличение урожая огурцов сорта «Грибовский» в пленочной теплице. В 1976 г. урожай возрос на 50%, в 1977 г. — на 20%. Значительный эффект получен при контактировании семян пшеницы с магнитофорами в течение 1 мин. Всхожесть семян пшеницы возросла на 7%, ячменя на 33%; высота пшеницы через месяц после посева увеличилась на 15%, ячменя — на 20%. После такой же обработки семян капусты, свеклы и огурцов урожай этих культур возрос на 15—20%. Отмечено также бактерицидное действие магнитных полей на семена — уничтожение действия плесени.

В Куйбышевском сельскохозяйственном институте Э. И. Резаев в теплицах совхоза «Овощевод» омагничиванием поливной воды добился повышения урожая огурцов на 20%.

Все приведенные выше сведения касались опытов, проведенных на относительно небольших площадях. Но в последнее время опубликованы данные опытов И. П. Яковлева с сотрудниками и И. А. Волконского, проведенных на больших площадях, что резко увеличивает достоверность полученных результатов.

И. П. Яковлев, К. П. Колобенков и И. П. Поляков продолжили свои исследования в полевых условиях в Поволжье. Уделяемое ими внимание вопросам орошения вполне понятно: только за годы десятой пятилетки площадь орошаемых земель в Поволжье будет доведена до 1600 тыс. га. Исследования проводили при поливе яровой пшеницы «Иния-66» на площади 5 га [190]. Для поливки этого участка применяли дождевой агрегат ДДА-100М, одно крыло которого действовало в обычном режиме, а другое было оборудовано простыми приставками. Они состояли из алюминиевой трубы длиной 120 мм, на стенках которой перпендикулярно ее оси были установлены один напротив другого (естественно, противоположными полюсами) две или три пары магнитиков. Эти магнитики диаметром 20 мм и длиной 30 мм создавали в трубе магнитное поле напряженностью 24 кА/м (300 Э). Приставки устанавливали перед каждой дефлекторной насадкой агрегата ДДА-100М.

Агротехнические приемы возделывания почвы соответствовали обычному технологическому режиму. После уборки предшествующей культуры (кукурузы на силос) на опытном участке провели дискование почвы лущильником для рыхления верхнего слоя (для сохранения влаги и провоцирования сорняков). После того, как сорняки проросли, участок вспахали на глубину 25—27 см плугом с предплужником. В весенний период провели боронование почвы в два следа и культивацию на глубину 10—12 см.

В качестве удобрений использовали аммиачную селитру, двойной суперфосфат и хлористый калий. Фосфорно-калийные удобрения вносили осенью под вспашку, а азотные — под предпосевную культивацию.

Посев был проведен 19 апреля сеялкой СУ-24. Норма

высева — 5,5 млн. всхожих семян на 1 га. Почва после посева была прикатана. При предпосевном поливе (с нормой 500 м³/га) воду магнитной обработке не подвергали.

Вегетационные поливы проводили в сроки, определяемые влажностью почвы в расчетном слое (при 70—80% ППВ). Всего за период вегетации было проведено три полива при нормах 1100, 900 и 700 м³/га.

Фенологические наблюдения показали, что всходы появились через 12 дней, период от всходов до кущения составил 15 дней. Отмечено, что фазы развития на участке, политом омагниченной водой, наступали на 2—3 дня раньше, чем на участке, политом обычной водой. Полив растений омагниченной водой вызвал более мощное развитие надземной массы. Эти различия можно было наблюдать уже в фазе кущения. После полива омагниченной водой (по сравнению с поливом обычной водой) вегетационный период уменьшился на 2—3 дня.

Уборка яровой пшеницы проведена в фазе полной восковой зрелости комбайном СК-4. Проведен тщательный откос опытной и контрольной делянок. Результаты учета урожая таковы:

Поливная вода	Урожай, ц/га	Прибавка урожая, ц/га (%)
Обычная	42,5	—
Обработанная двумя магнитными полями	45,3	2,8 (6,5)
Обработанная тремя магнитными полями	49,0	6,5 (15,3)

Из приведенных данных видно, что оптимизированная магнитная обработка поливной воды вызвала прибавку урожая на 15%.

Н. А. Волконский, В. И. Чаленко и Б. К. Нерознак в 1975—1976 гг. провели крупномасштабные опыты по магнитной обработке оросительной воды в зерносовхозе «Кубанский» Краснодарского края. Речную воду обрабатывали шестью параллельно установленными магнитными аппаратами местного производства. Было выделено два совершенно идентичных участка — опытный (5,5 га) и контрольный (6,1 га).

В 1975 г. урожай гороха и овса на участке, поливаемом омагниченной водой, был на 21% больше, чем на контрольном участке. В 1976 г. урожай сахарной свеклы возрос при поливе омагниченной водой на 14%. Одновременно отмечена возможность снижения расхода оросительной воды на 11—18%, а также удаление из активного слоя почвы до 23% солей.

Результаты полевых опытов в Поволжье и на Кубани показали хорошее соответствие.

Таким образом, имеется много данных о том, что магнитная обработка воды позволяет значительно повысить урожайность различных сельскохозяйственных культур.

По-видимому, могут играть роль следующие факторы: агрегация частиц почвы, улучшение растворения питательных веществ, ускорение их доставки к корням и повышение проницаемости биологических мембран (приводящее к улучшению усвоения питательных веществ растениями).

Уже появились первые экспериментальные данные, свидетельствующие об улучшении усвоения растениями питательных веществ, вносимых в почву, в случае полива омагниченной водой. М. Марков из Софийского университета провел опыт на участке 40 м², на котором выращивались помидоры [191]. Полив осуществлялся артезианской водой, на одном участке — омагниченной, на контрольном — обычной. Остальные условия были строго стабилизированы. На опытном участке урожай помидоров возрос на 21%, в плодах содержалось на 10% больше минеральных солей, что свидетельствует о повышении качества помидоров. Через три месяца содержание азота и бора в растениях возросло соответственно на 12 и 24,6%.

Следует подчеркнуть, что повышение эффективности использования удобрений является важнейшей государственной задачей.

Замачивание семян

Первые сведения о положительном влиянии на урожай магнитной обработки воды для предпосевного замачивания опубликованы в 1971 г. А. И. Лебедиком и Т. А. Золотаревой (Кубанский научно-исследовательский

институт испытания тракторов и машин). Работы начаты в 1966 г. Обработке подвергали водопроводную воду, которую пропускали через очень слабые магнитные поля 0,8—2,4 кА/м или 10—30 Э. Объектом исследования служили три сорта свеклы «Рамонская-0,6», «Ялтушковский гибрид» и «Кубанский полигибрид-9». Размер делянок составлял 27 м², а затем 120 м²; повторность — четырехкратная. Результаты опытов приведены в табл. 52 [192].

В 1967 г. и 1968 г. были проведены контрольные опыты на площадях 4 и 15 га. Полевая всхожесть повысилась на 10 и 9%, урожай корней на 22 и 33 ц/га (соответственно). В 1969 г. в двух колхозах семенами, замоченными в омагниченной воде, было засеяно 47 и 8 га. Повышение урожая составило 9% [193].

Таблица 52. **Влияние магнитной обработки воды для предпосевного замачивания семян сахарной свеклы на ее урожай**

Годы	Вода, в которой замачивались семена	Абсолютная полевая всхожесть, %	Густота насаждения, тыс. шт./га	Урожай		Сахаристость, %	Получено сахарной свеклы в пересчете на сахар	
				ц/га	%		ц/га	%
1966	Обычная	31	64	325	100	12,9	42	100
	Омагниченная	43	74	349	109	12,9	45	107
1967	Обычная	53	108	535	100	11,6	62	100
	Омагниченная	59	108	586	110	12,4	73	116
1968	Обычная	58	91	580	100	13,6	79	100
	Омагниченная	63	91	634	109	13,9	88	112

Н. А. Волконский, замачивая семена риса в омагниченной воде, а не в обычной, повысил урожай с 42,2 до 48,2 ц/га (на 14%).

Имеются некоторые сведения о механизме явлений, происходящих при омагничивании семян. Л. В. Сиротина и А. А. Сиротин нашли, что предпосевная обработка семян проса в течение 48 ч пульсирующим полем напряженностью 8 А/м (0,1 Э) и частотой 50 Гц приводит к изменению количества хлорофилла и его связей с липопротеидами. «Такая обработка положительно проявляется в онтогенезе, способствует накоплению хлорофилла и повышению его связи с липопротеидами» [114, стр. 193—194].

Рассоление почв

Не обосновывая здесь очевидную важность этой проблемы, отметим, что возможность использования омагниченной воды для рассоления почв обусловлена ее повышенной растворяющей способностью, что отмечалось неоднократно.

М. А. Асатрян и В. Э. Статанян («Армгипроводхоз») проводили опыты на почвах опытно-дренажного пункта. Ими установлено, что плотность омагниченной воды, прошедшей через слой почвы, на 0,1 г/см³ больше, чем неомагниченной, а фильтрация — в 2 раза выше. В первом случае из 100 г почвы выносится солей на 10 г больше, чем во втором. Если подвергать магнитной обработке 5%-ный водный раствор технического железного купороса, то полученный мелиорант выносит из 100 г почвы на 20 г больше солей, чем обычная вода.

В работе В. Э. Статанян и А. А. Оганесян [19, с. 150] приведены результаты опытов с образцами почвы, содержащими, %:

CO_3^{2-}	0,019	Ca^{2+}	0,082
HCO_3^{-}	0,066	Mg^{2+}	0,006
Cl^{-}	0,572	$Na^{+}+K^{+}$	1,072
SO_4^{2-}	1,663		

Сухой остаток составлял 3,46 мг/л. Магнитной обработке подвергали воду, содержащую (мг-экв/л): HCO_3^- — 1,94; Cl^- — 0,79; Ca^{2+} — 1,16; Mg^{2+} — 0,76. Сухой остаток составлял 372 мг/л. Этими исследователями установлено, что при оптимизированном режиме магнитной обработки омагниченная вода вымывает в 4—5 раз больше солей, чем обычная.

Н. П. Яковлев и А. А. Литвинова (Волж. НИИГиМ) провели в 1972—1973 гг. опыты в лаборатории (в ци-

лиздрах и на монолитах) и в полевых условиях (на лизиметрах) на Валуйском опытно-мелиоративном пункте, на остаточно-солонцеватых вторично засоленных тяжелосуглинистых и глинистых почвах. Результаты сопоставлялись с данными, полученными при использовании химических мелиорантов — раствора хлористого кальция (2 г/л) и соляной кислоты (0,5%). Методика опытов представляется достаточно продуманной. Повторность опытов — трехкратная при хорошей воспроизводимости. Ими установлено, что омагниченная вода впитывается почвой лучше, чем химические мелиоранты. Вынос солей из почвы омагниченной водой и раствором кислоты на 50—62% больше, чем обычной водой. Полностью вымываются хлориды натрия. Раствор кислоты вымывает почти весь, а омагниченная вода — весь хлорид магния. По сумме токсичных солей почва промывается до степени незасоленной или слабозасоленной.

Промывка почв в метровых монолитах также показала четкое преимущество применения омагниченной воды. Почвы промываются до такой же степени. Расчет показывает, что активная промывная норма омагниченной воды составляет 3—4,3 т/га.

Е. Н. Гусенков и С. Г. Кочетков (Союзводпроект) также сообщают о том, что омагниченная вода вымывает из почвы значительно больше солей, чем обычная [194].

Первые расширенные полевые испытания проведены в 1974—1975 гг. Агрофизическим институтом совместно с Гипроводхозом и трестом «Таджикцелинстрой» в совхозе «40 лет Таджикистана» (Зафарабадский район Голодной степи Таджикской ССР). Этим испытаниям предшествовали удачные лабораторные опыты.

Испытания проводили на наиболее засоленном участке почвы площадью 10 га с однородным засолением. Были устроены чеки и устройства для дренажа. Пробы грунта отбирали в трех точках с каждого гектара с глубин 0,3, 1,0 и 1,5 м до и после промывки. Промывку проводили методом затопления при расходе воды 180 м³/ч. Время заполнения одного чека составляло 6 ч, продолжительность одного этапа промывки была равна 10 суткам. Число промывок зависело от промывной нормы. При содержании солей в почве более 2,5% эта норма составляла 12 тыс. м³/га (три этапа по

4 тыс. м³/га). Общая продолжительность промывки составляла 1,5 месяца.

Магнитную обработку осуществляли в аппарате послойного типа (см. рис. 47), изготовленном московским заводом «Котлоочистка», производительностью 2000 м³/ч; удельный расход электроэнергии на 1 м³ воды составлял всего 2,5 Вт (стоимость обработки 1 м³ — тысячные доли копейки). Результаты испытаний приведены в табл. 53 [195].

Из табл. 53 видно, что омагниченная вода примерно вдвое больше вымывает солей из почвы, чем обычная.

Таблица 53. **Эффективность рассоления земли в Голодной степи обычной и омагниченной водой**

Глубина, м	Запас солей в почве						Вынесено солей (т/га) при промывке водой			
	до промывки		после промывки водой				обычной		омагниченной	
			обычной		омагниченной					
	%	т/га	%	т/га	%	т/га	т/га	%	т/га	%
0—0,3	2,9	126	2,3	100	1,6	70	26	100	56	216
0,3—1,0	2,4	242	1,9	192	1,4	142	50	100	100	200
1,0—1,5	1,7	123	1,4	102	1,3	94	21	100	29	138
Суммарная глубина:										
0—1,0		368		292		212	76	100	156	205
0—1,5		491		394		306	97	100	185	191

При этом извлекаются те соли, которые в контрольных опытах не вымываются вообще [например, ионы HCO_3^- (табл. 54)], замедляется накопление в почве ионов магния. В омагниченной воде концентрация кислорода увеличивается на 10%.

С рассолением почв тесно связана и проблема полива растений соленой водой. Соленую воду нельзя применять по двум причинам: 1) прежде всего, это вызывает отложение солей в растениях, что задерживает межклеточную циркуляцию, и 2) соли жесткости отлагаются в капиллярах почвы, делая ее водонепроницаемой. Во Франции в 1960 г. выдан патент № 1206631 (класс А019), предусматривающий возможность полива растений жест-

Таблица 54. **Вымывание из почвы различных анионов обычной и омагниченной водой (%)**

Анион	Вода	
	обычная	омагниченная
Cl^-	30	50—80
SO_4^{2-}	15	30
HCO_3^-	0	30

кой водой, в том числе — водой морской, после ее предварительной магнитной обработки. Полевые опыты, проведенные на высокоизвестковых почвах с жесткой засоленной водой, богатой сульфатами кальция, магния и хлористым натрием, были удачны. Такую воду уже применяют на Болеарских островах.

Принципиально указанный прием не представляется невозможным, поскольку в этом случае очевидно предотвращается образование инкрустаций в порах. В нашей стране такие опыты не ставились, но есть все основания для их проведения.

Народнохозяйственный эффект

Несмотря на начальный характер работ в области использования омагниченной воды в сельском хозяйстве, имеются все основания полагать, что народнохозяйственный эффект будет значительным.

При этом надо подчеркнуть еще раз дешевизну и простоту реализации магнитной обработки. Высокопроизводительные (тысячи метров кубических в час) аппараты можно применять в поле на водоводных магистралях и на поливочных машинах. Стоимость обработки 1 $м^3$ воды составляет тысячные доли копейки. Там, где возникают трудности с электроэнергией, можно применять аппараты на постоянных магнитах (например, аппараты типа, приведенного на рис. 41). Их эксплуатация сводится к прочистке и периодическому контролю эффективности омагничивания воды.

Применение омагниченной воды позволяет не только повысить урожайность, что может принести миллиардный доход, но и значительно сократить расход минеральных удобрений. Народнохозяйственные планы предусматривают невиданный рост их выпуска. Если в 1975 г. было выпущено 90 млн. т удобрений, то в 1980 г. их должно быть выпущено 143 млн. т. Производство удобрений и его рост сопряжены с огромными затратами и трудностями. Больше того, в нашей стране просто нет должного количества фосфорсодержащих руд, способных удовлетворить перспективную потребность сельского хозяйства, а имеющиеся новые месторождения — бедные и труднодоступные. Поэтому даже небольшое увеличение коэффициента использования питательных веществ позволит сэкономить колоссальные средства. Достигаемая экономия эквивалентна расходам на строительство многих огромных горных и химических предприятий. И такой экономии можно достигнуть простым и дешевым способом — магнитной обработкой воды (естественно, после проведения комплекса завершающих исследований).

Мелиорация земель с освоением новых площадей, являющаяся важнейшей задачей сельского хозяйства, тесно связана с рассолением почв. До сих пор для этой цели применяют различные мелиоранты — растворы различных солей, чаще всего — кислые. Но, во-первых, кислоты у нас дефицитны. Во-вторых, рассоление с помощью мелиорантов не может сочетаться с систематическим поливом, после прекращения подачи мелиорантов подпочвенные воды снова засоляют почву. Орошение же омагниченной воды сдвигает равновесие в сторону смещения солей на глубину и сохраняет это сколько угодно долго.

Таким образом, применение магнитной обработки воды в сельском хозяйстве представляется весьма перспективным.

9. ПРИМЕНЕНИЕ В МЕДИЦИНЕ

Описывая изменение биологических свойств водных систем после магнитной обработки (п. 3, гл. II), мы уже привели ряд сведений, свидетельствующих о большой перспективности применения омагниченной воды в меди-

цине. Небезынтересно отметить, что этому направлению в давние времена придавалось большое значение, хотя, конечно, все высказывания по этому вопросу (как и в других областях человеческих знаний) были очень наивны. Например, в книге Г. Дюрвилля [196] отмечаются ранние наблюдения женевского физика де-Гарсю, а также описываются опыты автора. Он четко, на десятках больных выявил полезность применения примитивно омагниченной воды для лечения органов пищеварения, заживления ран и др. Г. Дюрвиллю даже удалось, в первом приближении, устранить возможность психотерапевтического эффекта.

Не затрагивая область воздействия магнитных полей на биологические системы, попытаемся наметить те аспекты применения омагниченной воды в медицине, которые уже сейчас можно прогнозировать, основываясь на описанном выше изменении биологических свойств воды после магнитной обработки.

Дальше всего (хоть и очень медленно) продвинулись работы в области лечения мочекаменной болезни — особенно в последних клинических опытах Э. М. Шимкуса с сотрудниками [111] и В. М. Пилипенко [112]. Весьма обнадеживающие результаты, полученные в условиях несовершенной магнитной обработки воды, подчеркивают перспективность этого направления.

Интересные результаты получены при использовании омагниченной воды для нормализации артериального давления (см. рис. 32) [111]. В печати промелькнули сведения о повышении эффективности лечебного действия морской воды, предварительно подвергнутой магнитной обработке (опыты Е. В. Утехина, Сочи). Поскольку проницаемость кожи и биологических мембран (см. п. 3, гл. II) при употреблении омагниченной воды возрастает, это представляется весьма вероятным. По-видимому, это свойство омагниченной воды может найти и более широкое применение в медицине, как и бактерицидное свойство этой воды.

Опубликованы первые сведения о возможности лечения омагниченной водой больных атеросклерозом. В. В. Лисин и Е. Н. Иванова провели экспериментальную проверку влияния омагниченной водопроводной воды на некоторые биохимические показатели. Обследованию подвергли 24 человека, больных атеросклерозом [197].

Наряду с общепринятым клиническим обследованием было проведено также исследование сыворотки крови на холестерин, общее количество белка и белковых фракций. Исходное содержание холестерина в сыворотке крови всех больных было повышенным и колебалось от 235 до 443 мг%. После полуторамесячного приема омагниченной воды содержание холестерина в сыворотке крови снизилось на 67—32 мг%. У большинства больных повысилось содержание альбуминов и снизилось содержание β-глобулинов. Заметно улучшилось общее состояние больных.

Особое направление может составить «магнитофармакология» — регулирование и оптимизация действия различных лекарств, применяемых в виде водных систем. Мы уже упоминали выше о ряде положительных эффектов, достигнутых в данной области. К этому можно добавить, что уже появились первые сведения о снижении сенсибилизации — повышенной чувствительности к определенным лекарствам (например, к сыворотке).

Все это пока лишь первые шаги в области применения омагниченной воды. Однако уже имеющиеся сведения свидетельствуют о перспективности применения омагничивания водных систем в медицине.

Заключение

В начале книги высказано положение о большой научной и практической значимости проблемы магнитной обработки водных систем (воды, содержащей различные примеси). Все дальнейшее содержание книги обосновывает правильность этого положения.

Можно подвергать сомнению отдельные факты. Но их накопилось так много, что в *совокупности* они не позволяют относиться к ним с недоверием. В настоящее время с теоретических позиций уже нельзя обосновать невозможность наблюдаемых эффектов. Также нельзя недооценивать практические результаты, тем более прошедшие широкую промышленную проверку. Следует отметить, что применение магнитной обработки в любой из описанных областей имеет столь большое значение, что одного этого уже достаточно, чтобы уделить ей должное внимание. Различные области возможного использования магнитной обработки, как уже выявленные,

так и намечающиеся, позволяют оценить ее как *новое важное направление научно-технического прогресса.*

На современном этапе развития проблемы омагничивания водных систем к работам в этой области должны предъявляться особые требования. Изучение механизма происходящих явлений должно носить фундаментальный характер. При проведении опытов следует применять прецезионные приборы и методы; объекты исследования должны отличаться высокой степенью чистоты и быть защищены от внешних наводок. Работы прикладного профиля должны максимально моделировать промышленные процессы, сопровождаться статистической оценкой надежности полученных результатов и завершаться внедрением в практику при неослабном внимании исследователей. Упрощенный подход к эксплуатации аппаратов для магнитной обработки водных систем недопустим.

Особого внимания заслуживают разработка научных принципов конструирования аппаратов и их централизованное производство для разных целей и условий.

Учитывая неизбежность варьирования различных факторов, влияющих на магнитную обработку водных систем (прежде всего, их состава), необходимо (в идеальном случае) на выходе из аппарата установить некий датчик, фиксирующий эффективность обработки, с обратной связью к устройству, регулирующему режим обработки (например, силу тока в катушках электромагнита). Создание такой саморегулирующейся системы, очевидно, возможно только после разработки теории процесса и соответствующих датчиков, а также после полного овладения технологическими аспектами действия омагниченной воды. Другими словами, создание такой системы будет означать окончание основного этапа работ.

Пока до этого еще далеко, но простота и дешевизна магнитной обработки водных систем и реальная возможность ее существенного вклада в развитие народного хозяйства обусловливают необходимость скорейшего практического использования данного метода.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Вернадский В. И.* Избр. соч. М., Изд-во АН СССР, Т. 4, кн. 2, 1960. 280 с.
2. *Аллен А. О.* Радиационная химия воды и водных растворов. М., Госатомиздат, 1963. 215 с.
3. *Летников Ф. А., Кащеева Т. В., Минцис А. Ш.* Активированная вода. Новосибирск, «Наука», 1976. 134 с; *Летников Ф. А.* и др. ДАН СССР, 1975, т. 222, № 1, с. 204—207.
4. *Бернал Дж., Фаулер Р.* «Успехи физических наук», 1934, т. 14, № 15, с. 586—595.
5. *Блох А. М.* Структура воды и геологические процессы. М., «Недра», 1969. 216 с.
6. *Самойлов О. Я.* Структура водных растворов и гидратация ионов. М., Изд-во АН СССР, 1957. 185 с.
7. *Зацепина Г. Н.* Свойства и структура воды. М., Изд. МГУ, 1974. 48 с.
8. *Хорн Р.* «Морская химия». Пер. с англ. М., «Мир», 1972. 399 с.
9. *Pople J. A.* Proc. Roy. Soc., 1951, ser. A, Bd. 205, № 1081, p. 163.
10. *Матяш И. В.* Вода в конденсированных средах. Киев., «Наукова думка», 1971. 100 с.
11. *Кисловский Л. Д.* В кн.: Структура и роль воды в живом организме. Л., Изд-во ЛГУ, 1966, сб. 1, с. 171—175.
12. Вопросы теории и практики магнитной обработки воды и водных систем. Сборник второго всесоюзного совещания. М., «Цветметинформация», 1971. 316 с.
13. *Данилов В. И.* Строение и кристаллизация жидкостей. Киев, Изд. АН УССР, 1956. 211 с.
14. *Ефанов Л. Н.* Изв. АН СССР. Серия химическая, 1967, № 3, с. 571.
15. *Glusel J. A.* Poc. Nat. Acad. Sci., USA, 1965, v. 55, p. 479.
16. *Сикорский Ю. А., Вергенная Г. Н., Красильник М. Г.* Изв. вузов. Физика, 1959, № 3, с. 12—14.
17. *Cini R.* Acqua Ind., Milano, 1962, № 18.
18. *Маллер Э. В., Классен В. И., Кущенко А. Д.* ДАН СССР, 1969, т. 184, с. 136—138.
19. Вопросы теории и практики магнитной обработки воды и водных систем. Сборник третьего всесоюзного совещания. Новочеркасск, Изд. Новочеркасского политехнического института, 1975. 265 с.

20. *Bordi S., Papeschi G.* "Geofisica e meteorologia", 1965, v. 14, № 1-2, p. 28—32.
21. *Дерягин Б. В., Чураев Н. В.* Новые свойства жидкостей. М., «Наука», 1971. 175 с.
22. *Вонсовский С. В.* Современное учение о магнетизме. М., Гостеоретиздат, 1953. 182 с.
23. *Gabrera J., Fahlenbrach H.* "Zeitschrift für Physik", 1933, Bd. 82, S. 759; "Naturwissenschaften", 1934, Bd. 22, S. 417.
24. *Feutes F. S., Ives D. J.* J. Chem. Soc., 1956, v. III, p. 2798.
25. *Ершин Ю. В., Кострова Л. Н.* «Структурная химия», 1970, т. 11, № 1, с. 8—11.
26. *Дорфман Я. Г.* Беседы о магнетизме. М., Изд-во АН СССР, 1950. 240 с.
27. *Карякин А. В., Петров А. В., Герлит Ю. Б., Зубрилина М. Е.* «Теоретическая и экспериментальная химия», 1966, т. 2, вып. 4, с. 494—496.
28. *Глембоцкий В. А., Еремин Ю. П.* Сборник трудов Московского института стали и сплавов. М., «Металлургия», 1974, № 77, с. 34.
29. *Хайдаров Г. З., Горбенко И. В.* «Машиностроение и энергетика Казахстана», 1962, № 5, с. 21—23.
30. *Татаринов Б. П., Кирий Е. А.* Труды Ростовского н/Д института инженеров железнодорожного транспорта, 1964, вып. 48, 38 с.
31. *Брунс С. В., Классен В. И., Коньшина А. К.* Коллоидн. журн., 1966, т. XXVIII, № 1, с. 153—154.
32. Вода и магнитное поле. Уч. записки Рязанского пединститута, Рязань, Книжное издательство, 1974. 103 с.
33. *Зеленков В. Е., Упорова А. А., Чернов Ю. К.* Очистка сточных и оборотных вод предприятий цветной металлургии. Труды института «Казмеханобр». М., «Металлургия», 1970, с. 4, с. 248—251.
34. *Миненко В. И.* Магнитная обработка водно-дисперсных систем. Киев, «Техника», 1970. 165 с.
35. *Классен В. И., Жаленко Г. В., Бергер Г. С., Лапатухин И. В., Ерыгин Г. Д., Ключников Н. Г.* ДАН СССР, 1968, т. 183, № 5, с. 1123—1125.
36. *Классен В. И., Орел М. А., Саруханов М. А., Кагарлицкая И.В., Розенфельд С. Ш., Лапатухин И. В., Волошина Л. Б.* ДАН СССР, 1971, т. 197, № 5, с. 1104—1107.
37. *Мирумянц С. О., Вандюков Е. А., Тухватуллин Р. С.* Журн. физ. хим., 1972, т. 205, № 4, с. 882.
38. *Карякин А. В., Кривенцова Г. А., Соболева Н. В.* ДАН СССР, 1975, т. 221, № 5, с. 1096—1099.
39. *Ерыгин Г. Д., Классен В. И.* ДАН СССР, 1972, т. 205, № 4, с. 882—885.
40. *Усатенко С. Т., Морозов В. И., Классен В. И.* Коллоидн. журн., 1977, т. XXXIX, № 5, с. 1018—1020.
41. *Зеленков В. Е., Чернов Ю. К.* Очистка сточных и оборотных вод. Сборник института «Казмеханобр». М., «Металлургия», 1971, с. 155—158.
42. *Кукоз Ф. И., Чернов Г. К., Скалозубов М. Ф.* «Промышл. энергетика», 1935, № 2, с. 34—35.
43. Акустическая и магнитная обработка веществ. Сборник Новочеркасского политехнического института, 1966, № 9, 138 с.
44. *Bordi S., Vannel F., Papeschi G.* "Ann. chimica". Roma, 1963, v. 53, № 7, p. 909—913.
45. *Классен В. И., Кущенко Л. Д., Миллер Э. В., Певницкий И. Д.* — В кн.: Новые методы повышения эффективности обогащения полезных ископаемых. М., «Наука», 1968, с. 50—63.
46. *Зеленков В. Е., Мишина Л. А., Кильдарцев В. К.* Очистка сточных и оборотных вод предприятий цветной металлургии. Труды института «Казмеханобр». Алма-Ата, Книжное издательство, 1974, № 13, с. 214—219.
47. *Кущенко Л. Д., Богуславский Л. И.* «Электрохимия», 1967, т. III, вып. 1, с. 123—126.
48. *Уманский Д. И.* Журн. теоретич. физики. 1965, вып. 12, с. 2245—2248.
49. *Эльзбутас Г., Саснаускас К.* Научн. труды ВУЗов Литовской ССР, «Химия и химич. технология», 1968, IX, с. 125—127.
50. *Баталин Б. С.* Сборник научных трудов Пермского политехнического института, 1972, с. 116—125.
51. *Миненко В. И., Петров С. М., Миц М. Н.* Магнитная обработка воды. Харьков, Книжное издательство, 1962. 39 с.
52. *Файзуллаев Д. Ф., Джурабеков С., Шакиров А. А., Абидов С.,* ДАН УзССР, 1968, № 8, с. 13—15; 1969, № 8, с. 10—11.
53. *Никитин И. К., Марченко А. Г., Тимакович А. М.* Гидродинамика больших скоростей. Киев, 1968, вып. 5, с. 148—153.
54. *Евдокимов В. Б., Зуборев В. А.* Вестн. МГУ. Химия, 1969, № 2, с. 110—113.
55. *Духанин В. С.* Автореф. канд. дисс., М., МГПИ, 1973. 38 с.
56. *Patrovsky V.* "Molecular Physics", 1976, v. 31, № 4, p. 1051—1053.
57. *Jochi K. M., Kamat P. V.* J. of the Ind. Chem. Soc., 1966, v. VLIII, № 9, p. 620—622.
58. *Gabrielli C., Ficalbi A.* "Geofisica e meteorologi", 1965, v. 14, № 5-6, p. 132—133.
59. *Классен В. И., Орел М. А., Цапков Н. Г., Кабирова Р. А.* Изв. вузов. Цветная металлургия. Орджоникидзе, 1968, № 1, с. 6—9.
60. *Стукалов П. С., Васильев Е. В., Глебов Н. А.* Магнитная обработка воды. Л., «Судостроение», 1969. 190 с.
61. *Классен В. И., Шафеев Р. Ш., Хажинская Г. Н., Корюкин Б. М., Стецкая С. А.* ДАН СССР, 1970, т. 190, № 6, с. 1391—1392.
62. *Великанова Л. Н., Смирнов В. А., Семченко В. Д.* — В кн.: Магнитотвердые материалы. Т. II. Ростов н/Д, Книжное издательство, с. 150—153.
63. *Кисловский Л. Д.* ДАН СССР, 1967, т. 175, № 6, с. 1277—1279.
64. В кн.: Кристаллизация и свойства кристаллических веществ. Л., «Наука», 1971. 95 с.
65. *Тебенихин Е. Ф., Гусев Б. Т.* «Электрические станции», 1968, № 8, с. 49—52.
66. *Тебенихин Е. Ф.* Безреагентные методы обработки воды в энергоустановках. М., «Энергия», 1977. 183 с.
67. *Соколов В. М.* Кристаллизация солей из намагниченных водных растворов. Автореф. канд. дисс. Новосибирск, 1964.

68. *Иовчев М. П.* Исследования върху приложението на магнитното поле за обработване на водата в топлоенергийните обекти. Автореф. канд. дисс. София. 1968. 19 с.
69. *Габашвили Т. Г., Карциваде А. И.* Труды инст. геофизики АН Груз. ССР. Тбилиси, 1967, т. 25, вып. 1, с. 109—112.
70. *Müller G., Marscher H.* "Physikalische Blätter". Baden, 1966, Bd. 22, № 8, S. 358—363.
71. *Елисеев Н. И., Кирбитова Н. В., Классен В. И.* ДАН СССР, 1973, т. 209, № 2, с. 415—417.
72. *Piccardi G.* "The Chemical Basis of Medical Climatology". USA, 1962. 320 p.
73. *Ксенофонтов Б. С., Виленский А. И., Классен В. И., Смыслов П. А., Цимаркин Г. Е.* ДАН СССР, 1974, т. 215, вып. 4, с. 394—395.
74. *Ксенофонтов Б. С., Дерягин Б. В., Классен В. И., Виленский А. И., Кнубовец Р. Г., Пиотровский В. К., Потанин А. Н., Смыслов П. А.* ДАН СССР, 1975, т. 227, № 1, с. 146—148.
75. *Заремба В. Г., Михневич Г. Л.* Коллоидн. журн., 1962, т. 24, с. 491—493.
76. *Классен В. И.* ДАН СССР, 1966, т. 166, № 6, с. 1383—1385.
77. *Плаксин И. Н., Хажинская Г. Н., Стецкая С. А.* Изв. вузов. Горный журн., 1967, № 9, с. 149—151.
78. *Классен В. И., Хажинская Г. Н., Стецкая С. А.* Изв. вузов. Горный журн., 1968, № 12, с. 128—131.
79. *Васин Ю. Б., Семенченко И. Б., Бортников М. М., Горлов В. В., Васина З. М.* — В кн.: Прогрессивная технология литейного производства. Горький. Книжное издательство, 1969, с. 69—72.
80. *Сагинов А. О., Панов Г. Е., Обухов Ю. Д.* Вестн. АН Каз. ССР. Алма-Ата, 1967, № 10(270), с. 46—48.
81. *Классен В. И., Зиновьев Ю. З.* Коллоидн. журн., 1967, т. XXIX, № 5, с. 758—759.
82. *Зиновьев Ю. З., Классен В. И., Литовко В. И.* — В кн.: Новые методы повышения эффективности обогащения полезных ископаемых. М., «Наука», 1968, с. 44—49.
83. *Климашин Я. Д., Павлович С. А.* — В кн.: Тезисы совещания по изучению влияния магнитных полей на биологические объекты. М., 1966, с. 35—36.
84. *Шахов А. И., Душкин Е. Е.* — В кн.: Вопросы технологии обработки воды промышленного и питьевого водоснабжения. Киев. «Будівельник», 1969, с. 48—52.
85. *Ушаков О. И., Вебрас Э. А., Кулешов В. С., Щербиков Л. М.* — В кн.: Вопросы физики формообразования и фазовых превращений. Тула, Изд. Тульского политехнического института, 1970, с. 128—131.
86. *Шахов А. И., Душкин Е. Е.* Изв. вузов. Строительство и архитектура, 1963, № 11-12, с. 214—215.
87. *Классен В. И., Литовко В. И., Зиновьев Ю. З.* Промышленность нерудных и неметаллических полезных материалов. М., ЦНИИТЭстрам, 1966, вып. 9, с. 1.
88. *Черняк Л. П., Нестеренко И. П., Ничипоренко С. П., Зайонц Р. М.* Коллоидн. журн., 1973, т. XXXV, вып. 4, с. 802—804.
89. *Заднепровский Р. П.* Коллоидн. журн., 1973, т. XXXV, вып. 4, с. 758—759.
90. *Кирбитова Н. В., Классен В. И., Елисеев Н. И., Пирамидина Н. Г.* «Цветные металлы», 1973, № 10, с. 70—72.
91. *Calverley R. A., Read A. D.* Inst. of Mining and Metallurgy. Transactions. London, 1970, section C, v. 70, p. 141—147.
92. *Ocepek D.* "Rudarsko-metalurški zbornik". Beograd, 1973, № 1-2, p. 83—93.
93. *Gabicar J., Einhorn F.* Arch. Meteorol., Geophys. und Bioklimatologie, 1967, Bd. 15, № 1-2, S. 191—193.
94. *Шахов А. И., Душкин Е. Е.* — В сб.: Коммунальное хозяйство. Киев, «Будівельник», 1964, вып. I, с. 75—77.
95. *Верижская Е. В., Ключников Н. Г.* Сб. работ аспирантов. Краснодар, Краснодарский пединститут, 1969, вып. 2, с. 50.
96. *Елисеев Н. И., Пагирняк Ф. Н.* «Цветные металлы», 1968, № 5, с. 24—26.
97. *Джапаридзе Л. Н., Пруидзе В. П., Чагунава Р. В.* Сообщения АН Груз. ССР. Тбилиси, 1970, 58, № 2, с. 345—347; 1970, 59, № 1, с. 61—63.
98. *Цигович И. К.* Изв. вузов. Химия и химическая технология, 1970, т. XIII, вып. 9, с. 1290—1293.
99. Влияние магнитных полей на биологические объекты. Сборник. М., «Наука», 1971. 117 с.
100. *Холодов Ю. А.* Магнетизм в биологии. М., «Наука», 1970. 96 с.
101. В кн.: Влияние естественных и слабых искусственных магнитных полей на биологические объекты. Белгород, Книжное издательство, 1973. 173 с.
102. *Классен В. И.* — В кн.: Тезисы Всесоюзного симпозиума «Реакция биологических систем на слабые магнитные поля». М., 1970, с. 14—16.
103. *Тринчер К. С.* — В кн.: Состояние и роль воды в биологических объектах. М., «Наука», 1967, с. 143—149.
104. В кн.: Материалы Всесоюзного симпозиума «Влияние искусственных магнитных полей на живые организмы». Баку, Книжное издательство, 1972. 223 с.
105. В кн.: Тезисы докладов Совещания по изучению влияния магнитных полей на биологические объекты. 20—22 сентября. М., «Наука», 1966. 96 с.
106. *Мещерская К. А., Бородина Г. П.* Материалы 23-й научной сессии Хабаровского мединститута. Хабаровск, Книжное издательство, 1965. 161 с.
107. *Мушлевская Н. Н., Классен В. И.* ДАН СССР, 1976, т. 227, № 2, с. 391—393.
108. В кн.: Вопросы гематологии, радиобиологии и биологического действия магнитных полей. Томск, Книжное издательство, 1965, с. 39—45.
109. *Моргунов Н. Н.* — В кн.: Проблемы клинической патологии. Рязань, Книжное издательство, 1966, с. 105—143.
110. *Němec F.* Unitrni Lek., 1967, Bd. 13, S. 541—544.
111. *Шимкус Э. М., Аксенов Ж. П., Каленкович Н. И., Живой В. Я.* Влияние электромагнитных полей на биологические объекты. Труды Крымского медицинского института. Т. LIII. Харьков, Книжное издательство, 1973, с. 67—70.
112. *Пилипенко В. А.* — В кн.: Актуальные вопросы здравоохранения практической медицины. Донецкий мединститут. Киев, 1970, с. 88—89.

113. В кн.: Гигиеническая оценка магнитных полей (материалы симпозиума 22—23 мая 1972 г.) М., Изд. Минздрав РСФСР, 1972. 185 с.
114. Материалы третьего Всесоюзного симпозиума «Влияние магнитных полей на биологические объекты». Калининград, Калининградский Госуниверситет, 1975. 240 с.
115. *Шахов А. И., Душкин Е. Е.* «Гигиена и санитария», 1965, № 9, с. 106—109.
116. *Агафонова Г. С., Классен В. И., Мартьянов Ю. А.* «Цветные металлы», 1970, № 5, с. 47.
117. *Классен В. И.* РЖ ВИНИТИ «Химия», 1975, реф. 14 И359. Депонир. рукопись НИИТЭхим (г. Черкассы), № 472/75-деп.
118. *Яковлев Н. П., Колобенков К. И.* Вестн. сельскохозяйственной науки, 1976, № 6, с. 101—106.
119. *Классен В. И., Щербакова С. В.* — В кн.: Новые исследования в области обогащения мелких классов углей и руд. М., «Наука», 1965, с. 6—7.
120. *Киргинцев А. Н.* Журн. физ. хим., 1971, т. XLV, № 4, с. 857—859.
121. *Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М.* Лекции по физике. М., «Мир», 1966. 372 с.
122. *Lippincott E., Stromberg R., Grant W., Cessac G.* "Science", 1969, v. 164, p. 1482.
123. *Зелепухин В. Д., Зелепухин И. Д.* Научные труды Казахского сельскохозяйственного института. Алма-Ата, 1973, т. 16, вып. 4, с. 143.
124. *Голгер Ю. Я., Классен В. И., Погодин В. К., Смыслов П. А.* Тезисы всес. семинара по проблеме магнитной обработки воды в процессах обогащения полезных ископаемых. М., Изд. Инст. горного дела им. А. А. Скочинского, 1968. 22 с.
125. *Гак Е. З.* Журн. технической физики, 1970, т. 40, № 8, с. 1760—1767.
126. *Ефремов И. Ф., Лукашенко Г. М., Усьяров О. Г.* — В кн.: Поверхностные силы в тонких пленках и дисперсных системах. М., «Наука», 1972, с. 35—40.
127. *Классен В. И.* Вопросы теории аэрации и флотации. М., Госхимиздат, 1949. 190 с.
128. *Мартынова О. И., Гусев Б. Т., Леонтьев Е. А.* «Успехи физических наук», 1969, т. 98, вып. 1, с. 195—199.
129. В кн.: Влияние естественных и слабых искусственных магнитных полей на биологические объекты. Научн. труды Курского пединститута, т. 22(115). Белгород, Книжное издательство, 1973. 169 с.
130. *Денисов П. В., Репринцева С. Л.* — В кн.: Некоторые вопросы химии и методики ее преподавания. Краснодар, Изд. Краснодарского пединститута, 1969, с. 68—73.
131. *Тебенихин Е. Ф., Гусев Б. Т.* Обработка воды магнитным полем в теплоэнергетике. М., «Энергия», 1970. 143 с.
132. *Ахмеров У. Ш., Ведерников А. П., Полснов Л. Ф.* Методы индикации «магнитной воды». Казань, Изд. Казанского университета, 1972. 73 с.
133. *Улазовский В. А., Ананьина С. А.* Влияние омагниченной воды затворения на процессы кристаллизационного твердения цементного камня. Волгоград, Изд. Волгоградского института инженеров городского хозяйства, 1970. 114 с.
134. *Михановский Д. С., Арадовский Я. Л., Леус Э. Л.* Пластификация бетонной смеси магнитной обработкой воды затворения на домостроительных заводах. М. Стройиздат, 1970. 47 с.
135. *Ларин А. В., Трусов С. Б., Азелицкая Р. Д.* Труды Краснодарского политехнического института. Вып. 80. Краснодар, 1975, с. 23—26.
136. *Петухов В. И.* Исследование и выбор рационального способа упрочнения твердеющей закладки (на примере Зыряновского рудника). Автореф. канд. дисс. Алма-Ата, Каз. политехнич. институт, 1974. 24 с.
137. *Круглицкий Н. Н., Ничипоренко С. П., Гранковский И. Г., Пасечник Г. А., Чернчк Л. И.* Физико-химическая механика дисперсных структур в магнитных полях. Киев, «Наукова думка», 1976. 193 с.
138. *Челнокова В. М.* Влияние магнитной обработки воды разного состава на физико-механические свойства цементов при их твердении. Автореф. канд. дисс. Л., Ленинградский инженерно-строительный институт, 1975. 22 с.
139. *Расулова Н. М.* Эффективный метод использования морской воды в технологии бетонов и растворов. Автореф. канд. дисс. Баку, Азербайджанский политехнич. институт, 1976. 27 с.
140. *Малахов Г. М., Фаустов Г. Т., Федоренко П. И., Гуревский Н. В.* Горный журн., 1971, № 10, с. 21—23.
141. Материалы семинара — совещания «Применение магнитной обработки воды в энергетике» НТО энергетической промышленности». Новосибирск, Книжное издательство, 1968. 199 с.
142. *Каган Я. М.* Экспериментальное исследование процесса образования отложений на стенках труб при движении газонефтяного потока и воздействие на нефть переменным электромагнитным полем. Автореф. канд. дисс. М., Институт нефтехимической и газовой промышленности, 1966. 22 с.
143. *Классен В. И., Мокроусов В. А.* Введение в теорию флотации. Изд. 2-е. М., Металлургиздат, 1961. 635 с.
144. *Классен В. И., Щербакова С. В.* Горный журн., 1965, № 5, с. 58—63.
145. *Зубкова Н. Ф., Попов Р. Л.* Научные труды Среднеазиатского института цветной металлургии. Средазнипроектцветмет, 1972, № 5, с. 11—18.
146. *Бондаренко О. П.* «Обогащение руд», 1965, № 3, с. 22—23.
147. *Ковачев К., Клисуранов Г.* «Рудодобив. металлургия». София, 1969, № 4, с. 16—19; 1970, № 2 с. 12—15.
148. *Ilie P., Pop I., Szöllosy D.* "Revista minelor". Buchuresti, 1969, v. 20, № 8, p. 336—340.
149. *Александров Я., Димитрова С., Проданов Я., Петров Л.* Бюллетень института «НИПроруда». София», 1968, № 2, с. 21—23; 1968, № 3, с. 41—44.
150. *Yousef A. A., Boulos T. R., Arafa M. A., Farag B. S.* "Eizmetall", 1974. Bd. 27, № 5, S. 233—236.
151. *Агафонова Г. С., Классен В. И., Мартьянов Ю. А., Чернов Ю. К.* «Цветные металлы», 1969, № 1, с. 16—17.
152. *Демин Г. А., Ельников А. А., Койбаш В. А.* — В кн.: Обога-

щение и брикетирование угля. М., «Недра», 1967, № 9(72), с. 31—32.
153. *Konar B. B., Kini K. A., Sarkar G. G.* Trans. Inst. Mining and Met., 1976, v. C85, p. 55—57.
154. *Агафонова Г. С.* Применение магнитной обработки для улучшения флотационных свойств ксантогената. Автореф. канд. дисс., 1970. 20 с.
155. *Классен В. И., Орел М. А., Лапатухин И. В., Мергольд Л. Б., Розенфельд С. Ш., Цапков И. Г.* «Цветные металлы», 1968, № 5, с. 23—24.
156. *Агафонова Г. С., Бергер Г. С.* Материалы коллоквиума по теории флотации. Алма-Ата, «Наука», 1970, с. 140—148.
157. *Орел М. А., Милехин В. И., Классен В. И., Лапатухин И. В., Баянов Г. И., Данильченко И. Н.* «Цветные металлы», 1968, № 10, с. 49—50.
158. *Никитина В. С., Гончарова Г. М., Федорова А. М., Классен В. И., Павлюченко С. Г.* «Кокс и химия», 1972, № 8, с. 7—9.
159. *Зиновьев Ю. З., Классен В. И., Литовко В. И., Певницкий Л. Д., Рубан В. А., Мендыбаев М. С.* «Уголь», 1968, № 3, с. 59—61.
160. *Классен В. И., Смыслов П. А., Александрова Л. Д., Литовко В. И., Гуревич С. М., Соловьев Г. Р.* «Кокс и химия», 1972, № 10, с. 7—9.
161. *Куценко А. Н.* — В кн.: Новые исследования в горной электромеханике. Л., Изд. Горного института, 1971, с. 17—19.
162. *Водяницкий Ю. Н., Мосьяков Е. Ф.* Изв. вузов. Геология и разведка, 1970, № 6, с. 104—107.
163. *Шахов А. И., Ширяев А. В., Душкин С. С.* Изв. вузов. Строительство и архитектура, 1963, № 11-12, с. 214—217.
164. *Полькин С. И., Рафиенко А. И.*, «Цветные металлы», 1964, № 9, с. 10—12
165. *Шахов А. И., Душкин С. С.* «Коммунальное хозяйство», 1964, вып. 1, с. 126—129.
166. *Шахов А. И., Душкин С. С.* Изв. вузов. Химия и химическая технология, 1972, т. 15, № 2, с. 273—275.
167. *Порубаев В. П., Переяслова Г. А., Салин А. А., Чернов Ю. К., Ровенская В. Я., Сироткина В. Д.* — В кн.: Очистка сточных и оборотных вод. М., «Металлургия», 1971, № 2, с. 165—173.
168. *Классен В. И., Соцкий А. Р., Говоров А. В.* Горный журн., 1968, № 5, с. 21.
169. *Лавров Ю. М.* Исследование и совершенствование способов борьбы с пылью в очистных забоях флюоритовых руд рудников Забайкалья. Автореф. канд. дисс. Иркутск, 1974. 22 с.
170. *Ягнышева Л. М.* Исследование реагентного и магнитного способов обработки воды как средств повышения гидрообеспыливания на медноколчеданных рудниках Урала. Автореф. канд. дисс. Свердловск, 1970. 24 с.
171. *Репко В. А., Хатунцев А. С., Мисеев Б. А.* Труды Центрального научно-исследовательского и проектно-конструкторского института профилактики пневмокониозов и техники безопасности, 1971, № 4, с. 63—67.
172. *Черняк Л. П., Нестеренко И. П., Ничипоренко С. П., Зайонц Р. М.* — В кн.: Научные основы технологии и развития производства стеновой строительной керамики. Киев, «Наукова думка», 1972, с. 42—48.
173. *Черняк Л. П.* Коллоидн. журн., 1973, т. 35, вып. 5, с. 1003—1008.
174. *Мартынина Г. Н., Краев В. М.* Керамическая промышленность. Реф. информация, Минстройматериалы СССР, 1974, вып. 2, с. 7—8.
175. *Севриков А. В.* Повышение качества алюмосиликатных огнеупоров методом физической активации воды. Автореф. канд. дисс. Днепропетровск, 1976, 19 с.
176. *Чумакова А., Воронин Ю., Тарасенко Е., Семенович Г., Ильина Т., Авдеев В., Мерилова Е.* — В кн.: Прогрессивные методы и процессы в литейном производстве. Изд. Нижне-Волжского ЦБТИ, 1970, с. 23—25.
177. *Кочкина Т., Чумакова А., Веденина Т., Уварова В., Финогенова Л.* — В кн.: Прогрессивные методы и процессы в литейном производстве. Изд. Нижне-Волжского ЦБТИ: 1970, с. 22—23.
178. *Жуков И. В., Бутко Ю. Г.* «Бумажная промышленность», 1974, № 10, с. 18.
179. *Жуков И. В., Бутко Ю. Г.* «Бумажная промышленность», 1976, № 2, с. 11—12.
180. *Подчерняев И. Я., Филиппов В. Е.* «Целлюлоза, бумага, картон», 1975, № 33, с. 18.
181. *Подчерняев И. Я., Банеле Н. З.* «Целлюлоза, бумага, картон», 1975, № 33, с. 17.
182. *Мелентьев П. Н., Чернышев А. М., Данилов В. М., Куликов Г. А.* — В кн.: Химико-термическая обработка железных руд. М., «Наука», 1969, с. 70—77.
183. *Классен В. И., Мартыненко В. А., Мерлин А. В., Бернадо В. Ф.* Сб. трудов института «Механобрчермет». М., «Металлургия», 1971, вып. 14, с. 88—92.
184. *Молчан А. Г.* Исследование возможностей улучшения электрических характеристик положительных пластин свинцового аккумулятора. Автореф. канд. дисс. Новочеркасск, 1967. 18 с.
185. *Худобин Л. В., Глузман А. Л., Гурьянихин В. Ф.* «Синтетические алмазы», 1972, № 3, с. 47—49.
186. *Замятина И. Е.* Исследование эффектов магнитной обработки глинистой пульпы для интенсификации некоторых процессов гидромеханизации. Автореф. канд. дисс. Калинин, 1972, с. 19.
187. *Дардымов И. В., Брехман И. И., Крылов А. В.* — В кн.: Вопросы гематологии, радиобиологии и биологического действия магнитных полей. Томск, Изд. Томского университета, 1965, с. 325—328.
188. *Лисин В. В., Молчанова Л. Г.* — В кн.: Материалы XI научно-итоговой конференции Семипалатинского медицинского института. Семипалатинск, Книжное издательство, 1967, с. 37—38.
189. *Волконский Н. А.* «Гидротехника и мелиорация», 1973, № 9, с. 18—20.
190. *Яковлев Н. П., Колобенков К. И., Поляков Н. И.* «Степные просторы», 1977, № 10, с. 38—39.
191. *Марков М.* Исследование прямого и косвенного действия магнитного поля на биологические объекты. Автореф. дисс. София, 1976. 26 с.
192. *Лебедик А. И., Золотарева Т. А.* «Сахарная свекла», 1968, № 5, с. 21—23.

193. *Золотарева Т. А.* Пути повышения всхожести семян сахарной свеклы. Автореф. канд. дисс. Воронеж, 1971. 22 с.
194. *Гусенков Е. Н., Кочетков С. Г.* «Гидротехника и мелиорация», 1971, № 1, с. 62—65.
195. *Рохинсон Э. Х.* Исследование физико-химических явлений в минерализованных водах при их протоке через магнитные поля. Автореф. канд. дисс. Л., 1975. 21 с.
196. *Дюрвиль Г.* Лечение болезней магнитами. Авторизированный перевод с 14-го французского издания. 2-е издание книгоиздательства по магнетизму З. С. Бпеского. Киев, 1913. 72 с.
197. *Лисин В. В., Иванова Е. Н.* — В кн.: Применение магнитных полей в клинике. Куйбышев, Изд. Куйбышевского мединститута, 1976, с. 55—56.

Вилли Иванович Классен

ОМАГНИЧИВАНИЕ ВОДНЫХ СИСТЕМ

Редактор Л. В. Швыркова
Художник В. В. Горелов
Художественный редактор Н. В. Носов
Технический редактор В. М. Скитина
Корректор В. А. Лобанова

И. Б. № 319.

Сдано в наб. 13.01.78 г. Подп. к печ. 12.05.78 г. Т-06265. Формат бумаги 84×108$^{1}/_{32}$. Бум. тип. № 2. Гарнитура литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 12,60. Уч.-изд. л. 12,37. Тираж 6500 экз. Зак. № 79. Цена 65 коп. Изд. № 1270.

Издательство «Химия» 107076, Москва, Стромынка, 13

Московская типография № 32 Союзполиграфпрома при Государственном комитете Совета Министров СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. Цветной бульвар, д. 26.